

Diseño de un modelo anatómico para aprendizaje basado en simulación clínica para la práctica  
de tacto vaginal en gestantes

Genny Andrea Laguado Serrano

Trabajo de Grado para Optar al Título de Diseñador Industrial

Director

P.h.D. Clara Isabel López Gualdrón

Codirector

Sully Viviana Calderón

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicomecánicas

Escuela de Diseño Industrial

Programa Académico

Bucaramanga

2023

### **Dedicatoria**

A mi mamá, cuyo amor incondicional y apoyo constante han sido mi fuente de fortaleza y motivación a lo largo de mi vida. Tus consejos me han guiado en cada paso de mi vida.

A mi papá, por tu sabiduría, paciencia y ejemplo de dedicación al trabajo arduo. Eres mi modelo a seguir que admiro profundamente.

A mi hermana, compañera de vida. Tu apoyo, tu amistad y la alegría que me brindas son tesoros que guardo en mi corazón, eres la mejor hermana que la vida me pudo regalar.

Y a Dios, fuente de vida, sabiduría y guía. A ti elevo mi más profundo agradecimiento por darme la fuerza para perseverar en este proceso académico, por iluminar mi camino y por bendecirme con la capacidad de aprender y crecer.

### **Agradecimientos**

A mi directora Clara López, mi codirectora Sully Calderón y a mi tutor Duván Fonseca por su apoyo, consejos y la confianza depositada en mí a lo largo de este proyecto.

Así mismo, a la Ginecóloga Adriana Gonzales, por sus enseñanzas y aportes que permitieron la culminación satisfactoria de este proyecto. Sus conocimientos en el campo de la Ginecología y obstetricia enriquecieron significativamente mi investigación.

A mis padres y a mi hermana, les debo un agradecimiento que va más allá de las palabras. Desde el inicio de mi carrera profesional, su apoyo inquebrantable ha sido mi mayor motivación y fuente de fortaleza.

Finalmente, quiero extender mi gratitud a mis amigos, profesores y al personal administrativo de la Escuela de Diseño Industrial. Su contribución hizo que mi paso por la universidad fuera verdaderamente gratificante.

Este logro no habría sido posible sin la colaboración y el apoyo de cada uno de ustedes. Gracias por ser parte de este importante capítulo de mi vida.

**Tabla de Contenido**

	<b>Pág.</b>
Introducción .....	14
1. Planteamiento del problema.....	16
1.2 Objetivo general.....	18
1.3 Objetivos específicos .....	18
1.4 Justificación .....	18
1.5 Pregunta de diseño .....	20
1.6 Alcances.....	20
2. Marco teórico .....	21
2.1 Modelo anatómico .....	21
2.2 Simulación .....	21
2.3 Tipos de modelos según su fidelidad.....	22
2.4 Ginecología y obstetricia .....	22
2.5 Tactos vaginales en gestantes .....	23
2.6 Simulación en obstetricia.....	24
2.7 Educación médica basada en simulación.....	24
2.8 Tipos de simuladores .....	25
2.9 Diseño para la manufactura (DFM) .....	26
2.10 Producto mínimo viable.....	27
3. Metodología .....	28
4. Desarrollo del proyecto.....	30
4.1 Identificación .....	30

4.1.1 Revisión de la literatura .....	30
4.1.2 Identificación de necesidades .....	32
4.1.3 Benchmarking.....	34
4.1.4 Identificación de procesos industriales .....	36
4.1.5 Identificación de materiales .....	39
4.2 Definición .....	42
4.2.1 Usuario objetivo.....	42
4.2.2 Definición de actividades de entrenamiento .....	44
4.2.3 Componentes del modelo.....	47
4.2.4 Medidas antropométricas .....	48
4.2.5 Requerimientos y parámetros .....	49
4.2.6 Definición de características visuales y físicas.....	53
4.2.7 Caracterización de materiales .....	55
4.2.8 Selección de componentes en librerías 3D .....	61
4.3 Ideación.....	62
4.3.1 Alternativa #1.....	62
4.3.2 Alternativa #2.....	63
4.3.3 Alternativa #3.....	64
4.3.4 Alternativa #4.....	64
4.3.5 Selección de alternativa .....	65
4.4 Prototipado.....	67
4.4.1 Pruebas y resultados con los materiales.....	68
4.4.2 Fabricación del prototipo .....	70

4.5	Testing.....	72
4.5.1	Verificaciones .....	72
4.5.2	Validaciones.....	74
4.6	Desarrollo del prototipo final.....	79
4.6.1	Mejoras y aplicación de principios del DFM.....	80
4.6.2	Modelado y planos .....	82
4.6.3	Diagrama de uso .....	83
5.	Resultados.....	84
5.1	Flujo de procesos .....	84
5.2	Estimado de costos.....	87
5.3	Factores de diseño para la manufactura aplicados .....	89
6.	Conclusiones .....	93
6.1	Recomendaciones .....	93
	Referencias bibliográficas.....	95

**Lista de Tablas**

	<b>Pág.</b>
Tabla 1 <i>Metodología y actividades de recopilación de datos</i> .....	28
Tabla 2 <i>Modelos utilizados en la facultad de salud UIS</i> .....	33
Tabla 3 <i>Resumen de procesos y tecnologías utilizadas en el desarrollo de productos en medicina</i> .....	36
Tabla 4 <i>Materiales utilizados en la fabricación de modelos anatómicos</i> .....	39
Tabla 5 <i>Procedimiento de exploración de tacto vaginal</i> .....	45
Tabla 6 <i>Medidas antropométricas de los componentes del modelo</i> .....	48
Tabla 7 <i>Tabla de requerimientos y parámetros</i> .....	51
Tabla 8 <i>Caracterización de los componentes</i> .....	53
Tabla 9 <i>Densidades por estructuras</i> .....	55
Tabla 10 <i>Lista de proveedores</i> .....	58
Tabla 11 <i>Tecnologías disponibles en la Universidad Industrial de Santander</i> .....	59
Tabla 12 <i>Modelo de vulva disponibles en las librerías 3D</i> .....	61
Tabla 13 <i>Escala fundamental</i> .....	66
Tabla 14 <i>Comparación de criterios</i> .....	67
Tabla 15 <i>Matriz de comparación</i> .....	67
Tabla 16 <i>Moldes impresos en 3D</i> .....	70
Tabla 17 <i>Verificaciones</i> .....	72
Tabla 18 <i>Diseño del estudio</i> .....	75
Tabla 19 <i>Mejoras aplicadas</i> .....	81
Tabla 20 <i>Materiales, cantidades y tiempos</i> .....	86

Tabla 21 <i>Tabla de estimación de costos para producir un modelo</i> .....	88
Tabla 22 <i>Factores de diseño para la manufactura aplicados</i> .....	89
Tabla 23 <i>Comparación de los diferentes tipos de fabricación para los tejidos blandos</i> .....	91

**Lista de Figuras**

	<b>Pág.</b>
Figura 1 <i>Ejemplos de Benchmarking</i> .....	34
Figura 2 <i>Práctica en laboratorio con maniquí</i> .....	42
Figura 3 <i>Etapas del parto normal</i> .....	44
Figura 4 <i>Nivel de importancia de la fidelidad del modelo funcional y estéticamente</i> .....	50
Figura 5 <i>Nivel de importancia de emulación de todas las etapas de dilatación</i> .....	50
Figura 6 <i>Componentes que debería tener el modelo</i> .....	51
Figura 7 <i>Propiedades de densidad y límite elástico de la piel ingresados en CES EDUPACK</i> ...	55
Figura 8 <i>Materiales disponibles para la emulación de la piel</i> .....	56
Figura 9 <i>Elastómeros disponibles para la emulación de la piel</i> .....	56
Figura 10 <i>Materiales disponibles para la emulación de los músculos</i> .....	57
Figura 11 <i>Alternativa 1. Modelo con embolo</i> .....	62
Figura 12 <i>Alternativa 2. Modelo con insertos de cervix separados</i> .....	63
Figura 13 <i>Alternativa 3. Modelo de cuellos uterinos</i> .....	64
Figura 14 <i>Alternativa 4. Modelo con pelvis</i> .....	65
Figura 15 <i>Modelo inicial para pruebas de material con látex</i> .....	68
Figura 16 <i>Modelo inicial para pruebas de material con caucho de silicona</i> .....	69
Figura 17 <i>Prototipo para verificaciones y validaciones</i> .....	71
Figura 18 <i>Cuestionario para validaciones</i> .....	76
Figura 19 <i>Número de errores de los estudiantes sin experiencia en tactos vaginales</i> .....	77
Figura 20 <i>Número de errores de los estudiantes con experiencia en tactos vaginales</i> .....	77
Figura 21 <i>Número de errores de los expertos en tactos vaginales</i> .....	78

Figura 22 <i>Prototipo final</i> .....	79
Figura 23 <i>Modelado del prototipo final</i> .....	82
Figura 24 <i>Flujo de procesos</i> .....	84

### **Lista de Apéndices**

Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS

- Apéndice A** Resultados Revisión literatura
- Apéndice B** Benchmarking
- Apéndice C** Usuario Arquetipo
- Apéndice D** Encuesta de identificación
- Apéndice E** Alternativas de diseño
- Apéndice F** Proceso analítico jerárquico
- Apéndice G** Protocolo de validación
- Apéndice H** Planos
- Apéndice I** Diagrama de uso
- Apéndice J** Flujo de procesos
- Apéndice K** Fichas técnicas

### Resumen

**Título:** Diseño de un modelo anatómico para aprendizaje basado en simulación clínica para la práctica de tacto vaginal en gestantes\*

**Autor:** Genny Andrea Laguado Serrano\*\*

**Palabras Clave:** Modelo anatómico, simulación, tacto vaginal en gestantes, Borramiento cervical, Dilatación cervical, diseño para la manufactura.

**Descripción:** La educación médica basada en simulación es una estrategia de enseñanza efectiva ya que utiliza herramientas para crear experiencias y nuevas oportunidades de aprendizaje, dando mayores posibilidades en los estudiantes de aumentar la práctica de procedimientos especializados como tactos vaginales en gestantes, a través de un entorno artificial seguro.

Dentro de la educación médica basada en simulación se encuentra el uso de modelos anatómicos que permite a estudiantes de programas académicos de medicina involucrarse en un contexto que simula una situación de la vida real y practicar procedimientos de baja o alta complejidad, por esta razón las instituciones de educación superior implementan modelos anatómicos como recurso educativo para sus prácticas académicas, sin embargo presenta grandes barreras como la dificultad de accesibilidad por altos costos de inversión y mantenimiento de los mismos.

Derivado de estas consideraciones, se crea la necesidad de desarrollar un modelo anatómico para la práctica de procedimientos en tactos vaginales de borramiento y dilatación como producto mínimo viable, con un nivel de madurez tecnológica TRL 5 utilizando una metodología basada en el Diseño para la Manufactura.

---

\* Trabajo de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Diseño Industrial. Programa académico. Director: P.h.D. Clara Isable López Gualdrón. Codirector: Sully Viviana Calderón.

### Abstract

**Title:** Design of an anatomical model for learning based on clinical simulation for the practice of vaginal examination in pregnant women \*

**Author(s):** Genny Andrea Laguado Serrano \*\*

**Key Words:** Anatomical model, simulation, vaginal examination, cervical effacement, cervical dilation, design for manufacturing

**Description:** Medical education based on simulation is an effective teaching strategy since it uses tools to make experiences and new learning opportunities, offering more possibilities to the students to increase the practice of specialized procedures such as vaginal examination on pregnant women, across safe artificial environment.

Inside of medical education based on simulation is founded the use of anatomical models that allow to the students of medical academic programs involve in a context that simulate a real life situation and to practice low or high complexity procedures, for this reason the higher education institutes implement anatomical models like educational resources for their academic practices, however it shows big barriers like the difficult access due to the high cost investment and themselves maintenance.

Derived of these considerations, it creates the need of develop an anatomical model for practice of procedures on vaginal touch of cervical effacement and dilation as minimum viable product, with a technological maturity level TRL 5 using a methodology based on design for manufacturing.

---

\* Bachelor Thesis

\*\*Physicomechanical Engineering Faculty. School of Industrial Design. Undergraduate program.  
Director: P.h.D. Clara Isable López Gualdrón. Co-director: Sully Viviana Calderón

## Introducción

Actualmente la simulación en entornos clínicos se ha convertido en una herramienta educativa eficaz para todo tipo de enseñanza de programas académicos, ya que gracias a ella los estudiantes tienen la oportunidad de interactuar en entornos simulados que representan situaciones reales y les permite practicar las habilidades necesarias para su futuro desarrollo profesional (Alan R. Williams, 2020). Como parte de este proceso de aprendizaje, se pueden destacar los modelos anatómicos para práctica de procedimientos obstétricos de tactos vaginales, los cuales preparan a los estudiantes para evaluar la dilatación, el borramiento, la estación y la presentación del cuello uterino, que según la literatura son prácticas comunes y recurrentes que se deben realizar durante toda la etapa de gestación del bebe y el proceso de parto (Shea & Rovera, 2015) (Meseguer et al., 2012).

Las ventajas que ofrece el uso de modelos anatómicos se han demostrado mediante diversos estudios realizados por pares que describen y estudian la simulación en ginecología y obstetricia. Los autores Kim & Shin, 2013, demostraron que el uso de modelos anatómicos de alta fidelidad para prácticas de simulación clínica, promueven la autoconfianza de los estudiantes y mejoran la calidad de la educación en medicina. A pesar de los avances en el uso de la simulación, este método de enseñanza presenta grandes barreras en la implementación de modelos anatómicos de alta fidelidad debido a los altos costos de inversión, el mantenimiento, la falta de personal capacitado en el manejo de los modelos anatómicos, las limitaciones de tiempo y espacio dedicados a la práctica académica de simulación clínica (Figueroa et al., 2019).

En vista de este contexto, el siguiente proyecto busca desarrollar un modelo anatómico con un nivel de madurez tecnológica TRL 5, para la enseñanza de exploraciones vaginales para borramiento y dilatación, a través de la metodología de diseño para la manufactura teniendo en

cuenta los factores de diseño para la manufactura, de tal manera que se obtenga un producto mínimo viable y a su vez un flujo de procesos que pueda ser replicado.

Será implementado en la Facultad de Salud UIS para estudiantes de pregrado de medicina, quienes presentan la necesidad de adquirir un modelo que les permita realizar sus prácticas en tactos vaginales.

### 1. Planteamiento del problema

La implementación de buenas prácticas obstétricas para el cuidado tanto de la salud de la mujer como del bebé son el foco principal de la atención médica en obstetricia, por lo tanto, la educación y la formación de profesionales para una asistencia de parto adecuada y la resolución eficaz de situaciones de emergencia son puntos fundamentales que contribuyen a una mejor calidad en la atención en salud (Kim & Shin, 2013). En este contexto, la educación médica basada en simulación ha demostrado ser efectiva para enseñar habilidades clínicas obstétricas (Sawaya et al., 2021), incluidos los exámenes cervicales en gestantes, que son considerados como técnicas diagnósticas fundamentales en el comienzo y el progreso del parto (Meseguer et al., 2012).

La simulación clínica en la educación y formación de profesionales de la salud ha evolucionado de forma importante, ya que permite entrenar y practicar en tres niveles: el nivel psicomotor, el nivel cognitivo y el nivel emocional (Lukanović & Laganà, 2022). A pesar de sus múltiples beneficios no ha alcanzado todavía una integración sistematizada a nivel mundial en las instituciones de educación superior (Corvetto et al., 2013).

Los desafíos para la integración de la simulación en la formación profesional de médicos generales y ginecobstetras incluyen factores tales como, los altos costos de inversión sobre todo en modelos de alta fidelidad, los límites de tiempo y espacios disponibles para el desarrollo de actividades de simulación, la falta de suficiente personal capacitado en su uso (Gomar & Palés, 2011) y por último la simulación no sustituye la realidad puesto que hay aspectos no reproducibles de la misma; por lo tanto su uso debe ser complementario (Serna Corredor & Martínez Sánchez, 2018).

En Colombia se ha incrementado el uso de simuladores para la educación médica en áreas como ginecología y obstetricia a través de modelos anatómicos, sin embargo, el país presenta diversas problemáticas para su implementación, como la poca inversión en educación médica (Lim

et al., 2018), así mismo el alto costo de inversión en la adquisición de modelos anatómicos que según la literatura el rango promedio de costo de los simuladores y software utilizados en Ciencias Clínicas de la Salud en Colombia, lo precios varían entre 1,695.00 USD y 80,000.00 USD (Figuroa et al., 2019).

Por esta razón se dificulta la accesibilidad de modelos anatómicos por parte de las Instituciones de educación superior de tal manera que se ve afectada la curva de aprendizaje de los alumnos entre esas dificultades se destaca el no poder repetir los entrenamientos tantas veces como sea necesario sin involucrar la seguridad del paciente, hasta adquirir habilidades clínicas entrenadas, que en condiciones normales pueden requerir meses o años (Knobel et al., 2020).

La Universidad Industrial de Santander no es ajena a las problemáticas que se evidencian en la educación médica simulada, los estudiantes de medicina y ginecología no cuentan con un modelo anatómico de alta fidelidad para realizar procedimientos de tactos vaginales para borramiento y dilatación. En la búsqueda de la implementación de estrategias de enseñanza simuladas, profesores de la Facultad de salud han desarrollado modelos artesanales de baja fidelidad para práctica de tactos vaginales y con materiales de bajo costo como retablos de tiplex que imitan la dilatación cervical a través de orificios rectangulares con diferentes longitudes.

A pesar de estos esfuerzos los modelos artesanales no son anatómicamente correctos ya que no presentan similitud alguna con las características físicas y visuales de un paciente real, lo cual limita los propósitos de enseñanza. Es así como se considera necesario el desarrollo de un modelo anatómico como producto mínimo viable para práctica de tactos vaginales en la Facultad de Salud UIS, lo que finalmente lleva a garantizar una mejoría en la calidad educativa de esta área de conocimiento.

## 1.2 Objetivo general

Desarrollar un modelo anatómico que contribuya a la correcta interpretación de procedimientos para la valoración clínica simulada de tactos vaginales en gestantes para borramiento y dilatación, mediante la metodología "diseño para la manufactura"(DFM).

## 1.3 Objetivos específicos

- Identificar las necesidades de los estudiantes y docentes de medicina UIS en el desarrollo de prácticas de tacto vaginal en simulación clínica.
- Establecer un flujo de procesos mediante la metodología “DFM” enfocado al diseño de un modelo anatómico como producto mínimo viable.
- Evaluar la percepción de utilidad del modelo como producto mínimo viable mediante validación con usuarios en una práctica académica.

## 1.4 Justificación

La implementación de modelos anatómicos en la educación médica basada en simulación ha demostrado que mejora las habilidades clínicas, técnicas de comunicación, el trabajo en equipo, rendimiento y finalmente tiene un efecto positivo en la salud pública (Ellinas et al., 2015).

Además, el uso de simuladores de alta fidelidad en la práctica clínica contribuye a mejorar la autoconfianza en los estudiantes (Kim & Shin, 2013), ya que brinda la oportunidad de aprender en un entorno cercano a la realidad de manera segura y aborda la creciente preocupación de los pacientes por la seguridad en la práctica clínica, sus complicaciones éticas y el costo creciente de los litigios médicos debido a errores humanos (Agudelo, 2015).

La literatura indica que la simulación también puede tener un impacto positivo en la adquisición de conocimientos cuando se usa en áreas clínicas especializadas (Gamble, 2017). En un estudio realizado por Mutter et al., 2020, 96 estudiantes de medicina de la Universidad de

Virginia participaron en sesiones de casos de práctica clínica simulada, con 48 estudiantes asignados a la sesión con maniquí y 48 estudiantes asignados a una sesión sin maniquí, como resultado se encontró una diferencia estadísticamente significativa en el rendimiento de una prueba de razonamiento, evidenciando que la educación médica basada en simulación es una estrategia efectiva para usar en la transición a los programas de residencia. Para el caso de las prácticas obstétricas, el uso de modelos anatómicos ha incrementado ya que es una solución efectiva para el aprendizaje de procedimientos que difícilmente se pueden realizar con pacientes reales, debido a consideraciones éticas, de seguridad y comodidad del paciente (Edwards et al., 2018).

Existen gran variedad de modelos en el mercado para enseñar exámenes cervicales y varían ampliamente en términos de costo y fidelidad, como los modelos Life/Form Cervical Dilation and Effacement (Nasco, EE. UU.) [SKU: LF01068], su costo comercial de \$12.310.934 COP.

Por lo general, los modelos más accesibles y de bajo costo son de menor fidelidad. Por ejemplo, el modelo utilizado por los estudiantes de medicina UIS es una placa de madera con orificios rectangulares que varían en longitud de 1 a 10 centímetros que representan las diversas etapas de la dilatación cervical durante el trabajo de parto. El alumno visualiza y palpa los orificios para aprender estas etapas. Si bien el modelo es aceptable para enseñar dilatación cervical, es ineficaz para enseñar borramiento, siendo este un procedimiento que se debe valorar en paralelo con la dilatación ya que indican información relevante del proceso de parto.

Con el desarrollo de este proyecto se busca generar un modelo anatómico con un nivel de madurez tecnológica TRL 5 como producto mínimo viable. Se hace referencia a la experiencia del grupo interfaz con la integración de CAD RP y aplicación de manufactura aditiva como impresión 3D para el desarrollo de biomodelos. Se apropiará en el desarrollo del modelo anatómico para práctica de procedimientos simulados de tactos vaginales en gestantes para borramiento y

dilatación, a través del establecimiento de un flujo de procesos guiado mediante la metodología diseño para la manufactura.

### **1.5 Pregunta de diseño**

¿Cuáles son los factores de diseño para la manufactura que deben ser considerados en el desarrollo de un producto mínimo viable para simulación clínica, orientado para prácticas de tactos vaginales de borramiento y dilatación cervical en gestantes?

### **1.6 Alcances**

Con el desarrollo de este proyecto se busca generar un modelo anatómico con un nivel de madurez tecnológica TRL 5 como producto mínimo viable, se tomará como base el modelo de integración de tecnologías emergentes para el desarrollo de biomodelos y se apropiará en el desarrollo del modelo anatómico para práctica de procedimientos simulados de tactos vaginales en gestantes para borramiento y dilatación, a través del establecimiento de un flujo de procesos guiado mediante la metodología diseño para la manufactura.

## **2. Marco teórico**

### **2.1 Modelo anatómico**

Un modelo es una representación intencional de algún sistema real, la característica distintiva de un modelo es que sirve para un propósito: "Un modelo es una representación con propósito" (Forbes et al., 2009). Existen diferentes tipos de modelos, entre esos se encuentran los modelos anatómicos que representan de forma directa estructuras anatómicas. Se utilizan como complemento educativo para la comprensión de la anatomía humana de una manera más interactiva y lúdica en colegios e instituciones de educación superior. Estos modelos son útiles en la educación médica simulada dado que permiten que los estudiantes puedan realizar sus prácticas médicas de una manera realista antes de que se vean enfrentados a tratar a un paciente real, favorecen el análisis crítico posterior a la realización de la práctica y se observa el grado de dominio alcanzado por los participantes en situaciones reales (Knobel et al., 2020).

### **2.2 Simulación**

La simulación deriva de la palabra latina "simulare", que significa "copiar". La simulación se refiere a la representación artificial de un proceso del mundo real para lograr objetivos educativos mediante el aprendizaje experimental. Desde el contexto educativo en la enseñanza de la medicina, la simulación consiste en situar a un estudiante en un contexto que imite algún aspecto de la realidad y en establecer, en ese ambiente, situaciones o problemas similares a los que deberá enfrentar con individuos sanos o enfermos, de forma independiente, durante las diferentes prácticas clínicas (Dávila Cervantes, 2014).

La práctica pedagógica con simulación ha sido estudiada en la literatura nacional e internacional (Landa, 2022), ya que permite un enfoque éticamente adecuado y promueve la seguridad del paciente, considerando que la primera experiencia de atención no se realizará con

un paciente y se ha evidenciado que su uso puede mejorar las habilidades clínicas, técnicas, de comunicación, de trabajo en equipo, mejorar el rendimiento y reducir los errores (Ellinas et al., 2015).

### **2.3 Tipos de modelos según su fidelidad**

Existen diversas clasificaciones en la literatura en cuanto a las alternativas de simulación basadas en el concepto de “fidelidad”; este término define el grado de realismo de los modelos utilizados (Maran & Glavin, 2003). En ese sentido, podemos clasificar los niveles de simulación como de alta, moderada o baja fidelidad, según los autores Jeffries y Alinier.

- **Baja fidelidad:** Los simuladores de baja fidelidad son aquellos dispositivos que imitan una parte del cuerpo humano, se trata de modelos anatómicos o maniqués diseñados para replicar sólo una parte del cuerpo o el cuerpo entero para practicar habilidades o procedimientos y maniobras tanto invasivas como no invasivas.
- **Moderada o alta fidelidad:** Son simuladores de tareas para el entrenamiento de procedimientos clínicos. Mediante el uso de modelos y dispositivos electrónicos, computarizados y mecánicos, de alta fidelidad visual, auditiva y táctil se logra una representación tridimensional de un espacio anatómico. Pueden asociarse a metodologías de realidad virtual y sistemas hápticos en la que el personal pueda entrenarse en procedimientos complejos y técnicas avanzadas.

### **2.4 Ginecología y obstetricia**

La especialidad en ginecología se dedica al cuidado del sistema reproductor femenino, los especialistas ginecólogos atienden situaciones vinculadas al útero, vagina, ovarios y mamas, según lo define la OMS. Por otra parte, se encuentra la Obstetricia y es aquella parte de la medicina que trata la gestación, el parto y el periodo de tiempo después del parto. La ginecología y obstetricia o Ginecobstetricia, es un campo especializado que combina los dos conceptos a través de un único

programa de formación académico, que cumple con una visión integral para el tratamiento de patologías en el embarazo, el cuidado y control prenatal e identificación de riesgos en toda la etapa del embarazo.

## 2.5 Tactos vaginales en gestantes

El tacto vaginal es un procedimiento que se realiza con frecuencia durante la asistencia a la mujer gestante tanto en el periodo del parto como durante el seguimiento del embarazo. El propósito del tacto vaginal es comprobar la evolución del parto y es una de las técnicas diagnósticas fundamentales en el proceso de parto ya que se realiza con el objetivo de identificar cambios en el cuello uterino que pueden causar complicaciones, principalmente relacionadas con la posibilidad de que ocurra un parto prematuro. A través de este examen, el médico puede verificar si el cuello uterino está abierto o cerrado, acortado o alargado, grueso o delgado y si está en la posición correcta el bebé (Meseguer et al., 2012).

El procedimiento para realizar tactos vaginales consiste en la introducción de los dedos índice y corazón, protegidos con guantes, dentro de la vagina de la mujer. Se pueden valorar diferentes aspectos entre esos se encuentra el borramiento y dilatación del cervix.

- Borramiento: El borramiento significa que el cuello uterino se **comprime** y se vuelve más delgado. Este se describe como un porcentaje, si el cuello uterino no se borra para nada, está borrado un 0%. Si el cuello uterino se ha afinado completamente, está borrado el 100% y la paciente puede empezar a pujar si el cuello también se encuentra dilatado en 10cm (Healthwis, 2022).
- Dilatación: La dilatación del cuello uterino se describe en centímetros de 0 a 10. A 0, el cuello uterino está cerrado. A 10, está completamente dilatado. El cuello uterino debe estar completamente dilatado antes de que la paciente empiece a pujar (Healthwis, 2022).

## **2.6 Simulación en obstetricia**

La investigación basada en simulación obstétrica se ha utilizado cada vez más para abordar cuestiones relacionadas con el trabajo en equipo, el rendimiento del equipo, la identificación de errores clínicos, la reducción de los riesgos clínicos y la mejora de los resultados clínicos (Gardner & Raemer, 2008). La simulación en obstetricia evolucionó de una herramienta de aprendizaje para estudiantes y residentes a un método para que los médicos experimentados aprendan nuevos procedimientos y profundicen en la práctica de simulación obstétrica (Gavin & Satin, 2017).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda que la formación integral en obstetricia en diferentes países incorpore planes educativos rigurosos que incluyan la simulación clínica como parte esencial del currículum. Los simuladores obstétricos disponibles en la actualidad varían desde entrenadores para tareas específicas hasta maniqués de alta fidelidad que representan de manera realista situaciones y entornos obstétricos a escala real.

## **2.7 Educación médica basada en simulación**

La educación médica basada en la simulación (SBME, por sus siglas en inglés) se define como una actividad educativa que utiliza herramientas o métodos de simulación para crear experiencias nuevas con oportunidades de aprendizaje, esta metodología provee escenarios educativos y objetivos que permite recibir retroalimentación inmediata por parte de sus docentes y adquirir conocimientos y habilidades transferibles a la realidad (Palés Argullós Carmen Gomar Sancho, 2010).

Se ha demostrado que la SBME es un método de enseñanza efectivo que puede mejorar la capacidad reflexiva y las habilidades de comunicación de los estudiantes de medicina de pregrado, lo que resulta en un rendimiento relativamente mejorado (Wang et al., 2021). Así mismo diferentes

autores como (Dávila Cervantes, 2014), (Sawaya et al., 2021) concluyen que este modelo de enseñanza ofrece gran variedad de ventajas como el permitir los errores en la práctica sin repercusiones reales, también la disminución del tiempo necesario para el aprendizaje de habilidades ya que se pueden repetir los procedimientos tantas veces como lo requiera el estudiante. Además, las curvas de aprendizaje basadas en la simulación son mejores que las curvas basadas en el entrenamiento clásico (G. Vázquez-Mata a & A. Guillamet-Lloveras b, 2009).

## 2.8 Tipos de simuladores

Existen múltiples clasificaciones en la literatura de las diferentes alternativas de simulación que se utilizan en clínica. Una de ellas es la descrita por Ziv, que divide las herramientas en 5 categorías principales (Ziv et al., 2003).

- Simuladores de tareas parciales: Son modelos diseñados para replicar sólo una parte del organismo y del ambiente.
- Pacientes simulados o estandarizados: Son personas que actúan como pacientes para realizar entrenamientos y evaluación de habilidades.
- Simuladores virtuales en pantalla: Son programas configuradores de un computador que permiten simular situaciones en áreas específicas de la salud y a su vez los estudiantes pueden interactuar con estos.
- Simuladores de tareas complejas: Son modelos electrónicos, computaciones y mecánicos de alta fidelidad.
- Simuladores integrados: Son modelos anatómicos de cuerpo completo manejados por computador

## 2.9 Diseño para la manufactura (DFM)

El diseño para manufactura (Design For Manufacturing - DFM) es una metodología usada en el diseño y desarrollo de productos, que durante el proceso del diseño tiene en cuenta a todos los actores del ciclo de vida del producto, desde el diseño conceptual hasta su disponibilidad en el mercado, incluyendo calidad y costos, esta metodología se puede adaptar a un proyecto en cualquier etapa en la que se encuentre (Marcela Sánchez & Carlos Julio Cortés, 2005). El objetivo principal de DFM es reducir los costos de fabricación, mejorar la calidad del producto y mejorar los tiempos de desarrollo (Ulrich & Eppinger, 2016) a través de la simplificación de las partes del producto, el análisis de valores, tolerancias, niveles de complejidad y conveniencia para el ensamble manual, automático o flexible. Se definen algunos principios que el equipo de diseño debe tener en mente:

- Reducir el número total de partes
- Desarrollar un diseño modular
- Usar materiales y componentes estandarizados
- Diseñar partes multifuncionales
- Diseñar para fácil fabricación
- Evitar partes separadas
- Minimizar las operaciones de manipulación
- Utilizar tolerancias amplias
- Minimizar el número de operaciones
- Evitar operaciones secundarias.
- Rediseñar componentes para eliminar pasos de proceso.
- Minimizar las operaciones que no añadan valor.

- Diseñar para el proceso.

La aplicación del diseño para la manufactura (DFM) en el desarrollo de modelos anatómicos ofrece ventajas significativas, como la precisión anatómica, la funcionalidad realista, la eficiencia en la fabricación, la reducción de errores, la capacidad de personalización y la durabilidad. Por estas razones se tomó como base la implementación del DFM en el desarrollo de este proyecto ya que estos beneficios mejoran la utilidad de los modelos en campos como la educación médica, la planificación quirúrgica y la investigación, lo que a su vez contribuye a una atención médica de mayor calidad y una formación más efectiva para profesionales de la salud, estudiantes y pacientes.

## **2.10 Producto mínimo viable**

El producto mínimo viable (MVP) es una técnica de desarrollo de productos o servicios que cumplen con las funciones mínimas para presentar a los clientes y comprobar su utilidad e interés por el mismo. Es, por tanto, una versión parcial del producto que sirve para recopilar información relevante sobre el diseño y grado de aceptación. El objetivo del MVP es que la iteración y los comentarios del producto pueden ayudar a evitar construir algo que los clientes no quieren y minimizan el tiempo dedicado a algo que no se venderá (Storbacka, 2018).

### 3. Metodología

Se tomó como base referencial las metodologías “Desing Thinking” y “Design for Manufacturing” para la construcción de un modelo anatómico de práctica simulada en tactos vaginales. Se definen las siguientes fases: Identificación, definición, ideación, prototipado, testing y desarrollo del producto (Tabla 1).

**Tabla 1**

*Metodología y actividades de recopilación de datos*

Objetivo	Fase	Actividad	Métodos
Objetivo 1	Identificación	Identificación de modelos para simulación en obstetricia	Revisión de la literatura Entrevistas a expertos
		Benchmarking	Análisis del mercado y los competidores
		Procesos de observación y empatía para la identificación de necesidades basados en la voz de los docentes y estudiantes.	Entrevistas con usuarios y análisis de campo
		Identificación de procesos industriales y materiales utilizados en fabricación de modelos anatómicos.	Búsqueda bibliográfica
Objetivo 2	Definición	Definición de usuario objetivo	Usuario arquetipo
		Definición de actividades de entrenamiento y componentes del modelo anatómico	Búsqueda bibliográfica Validación con expertos
		Establecimiento de requerimientos y parámetros	Tabla de requerimientos de uso, forma, función, técnico, estructural.
		Definición de características físicas y visuales del modelo para tactos vaginales	Identificación de características.
		Caracterización física y visual de materiales	Búsqueda CES-EDUPACK Revisión en la literatura
		Identificación de proveedores nacionales que cumplan con los resultados de la caracterización de materiales	Búsqueda de proveedores
		Selección de materiales	Pruebas de verificación en laboratorio Validación con expertos Modelos 3D
		Componentes de librerías 3D	Descarga a través de free3D

	Ideación	Generación de alternativas	Bocetos de alternativas a mano Modelos 3D
		Evaluación de alternativas	Selección de alternativa final mediante el proceso analítico jerárquico
	Prototipado	Generación de prototipos rápidos	Modelos a escala
		Experimentos a escala real en entorno de laboratorio	Análisis de escala y geometrías Sistemas de ensamblado
<b>Objetivo 2 y 3</b>	Testing	Verificaciones	Comprobación de requerimientos
		Validaciones con estudiantes en ambiente controlado como MVP	Medición de eficiencia, percepción de utilidad y nivel de fidelidad
	Desarrollo del prototipo final	Diseño de detalle	Planos finales, informe, modo de uso, análisis de costos de fabricación
		Fabricación del modelo anatómico	Modelo anatómico correcto para procedimientos de borramiento y dilatación
		Establecimiento del procedimiento de manufactura	Flujo de procesos Factores de DFM aplicados

## 4. Desarrollo del proyecto

### 4.1 Identificación

Para la primera etapa del desarrollo de este proyecto, se lleva a cabo una identificación de los aspectos importantes a tener en cuenta tanto en el ámbito médico como en la manufactura de modelos anatómicos.

#### 4.1.1 Revisión de la literatura

Se realizó una revisión de la literatura a través de la base de datos Web of science, los estudios elegibles tenían que ser publicados después del año 2012 y se investigó como tópico principal la simulación. Para esto, se utilizó la siguiente ecuación de búsqueda: Simulation (Topic) AND obstetrics (All Fields) AND medical education (All Fields) AND model (All Fields) OR training model (All Fields) AND gynecology (All Fields).

Se revisaron un total de 201 artículos, de los cuales se descartaron por título 107 y por resúmenes 63, finalmente, se obtuvo un total de 31 artículos presentados en el Apéndice A. Se realizó la lectura de los tópicos principales y, a continuación, se resume la información encontrada en todos los documentos.

**4.1.1.1 Efectividad de la simulación en ginecología y obstetricia.** En los últimos años se ha incrementado el uso de simuladores en la formación de ginecología y obstetricia (Dillon, 2021), ya que los simuladores ofrecen un entorno seguro y controlado para que los alumnos adquieran habilidades clínicas antes de realizar procedimientos en pacientes reales y tienen la oportunidad de practicar la gestión de situaciones poco frecuentes o complejas que no se encuentran con frecuencia en su práctica clínica.

De acuerdo con los estudios revisados en la literatura, varios autores afirman que el uso de simuladores en la formación ginecobstétrica puede mejorar los conocimientos, las habilidades, la confianza y la gestión del estrés (Lin & Song, 2018; Nitsche et al., 2015; Smithburger et al., 2012). De igual forma estos dispositivos ayudan a reducir el número de errores durante los procedimientos y acelerar la curva de aprendizaje de los estudiantes (Dyre et al., 2017). Sin embargo, los simuladores no deben sustituir a la experiencia clínica y deben utilizarse como herramienta complementaria para mejorar la formación clínica (Ruíz Parra et al., 2009).

La eficacia de los modelos, las métricas más utilizadas que se encontraron en la literatura es el *Test de bishop* (Kolkman et al., 2013), que a través de puntuaciones se valora el cuello uterino en el trabajo de parto y ayuda a predecir si será requerida la inducción del parto. Otra métrica hallada es la evaluación de Kirkpatrick (Knobel et al., 2020), un modelo de 4 niveles (I-reacción, II-aprendizaje, III-comportamiento, IV-resultados) que evalúa los programas de formación y capacitación.

**4.1.1.2 Uso de la impresión 3D en el desarrollo de modelos anatómicos.** La impresión 3D ha surgido como una tecnología prometedora para crear modelos y simuladores realistas como una solución rentable y personalizable en la educación médica (Goudie et al., 2018), ya que permite crear modelos anatómicos precisos que pueden utilizarse para la formación práctica y la planificación quirúrgica.

Los estudios demuestran la efectividad de los modelos impresos en 3D en la formación obstetricia (Kiesel, Beyers, Kalisz, Wöckel, et al., 2022) (Kiesel, Beyers, Kalisz, Joukhadar, et al., 2022), incluso para la histeroscopia, la laparoscopia, la cirugía fetal y entrenamientos de habilidades como el tacto vaginal. La característica de estos puede proporcionar una sensación

táctil realista, lo que permite a los alumnos practicar procedimientos en un entorno simulado que se asemeja mucho al tejido real. Sin embargo, se necesita más investigación para evaluar plenamente la eficacia de la impresión 3D en este campo y optimizar su uso en la práctica clínica. El material más utilizado en modelos de impresión 3D es el PLA ya que es de fácil acceso y a un costo asequible.

**4.1.1.3 Fidelidad de modelos anatómicos.** Los simuladores de alta fidelidad ofrecen una experiencia de formación más completa y realista que permite practicar habilidades técnicas y no técnicas, como la confianza, la comunicación y el trabajo en equipo, mientras que los simuladores de baja fidelidad son más adecuados para la formación de habilidades específicas. La elección del simulador depende de los objetivos específicos de la formación y de los recursos disponibles (Scholz et al., 2012).

#### ***4.1.2 Identificación de necesidades***

Para alcanzar el primer objetivo establecido en el proyecto, se lleva a cabo una investigación de los antecedentes con el fin de identificar las necesidades tanto de estudiantes como de docentes en el campo de la ginecología y obstetricia.

**4.1.2.1 Antecedentes de la situación de estudio.** En la Universidad Industrial de Santander, actualmente se están utilizando simuladores artesanales para enseñar procedimientos de dilatación y borramiento cervical, contruidos por los mismos docentes, principalmente con materiales de bajo costo y/o de fácil acceso, que son usados dentro del entorno académico.

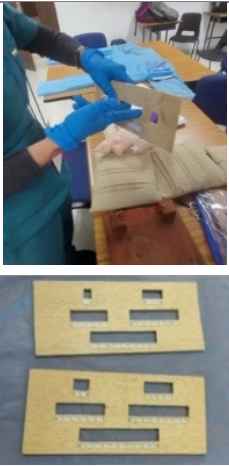


Estos entrenamientos son impartidos cada semestre a los estudiantes de pregrado en medicina de 8vo semestre en la rotación de ginecología y obstetricia. De acuerdo con los

testimonios, estos simuladores no se asemejan a los escenarios reales de atención a una paciente en trabajo de parto, ya que no emulan las sensaciones hápticas de un tejido blando, como tampoco cumple con las características anatómicas correctas de una vulva, que son aspectos esenciales para el entrenamiento de tactos vaginales.

A continuación, se evidencian los modelos fabricados por docentes de la UIS (Tabla 2):

**Tabla 2**

*Modelos utilizados en la facultad de salud UIS*

<b>Fabricación</b>	<b>Modelo</b>	<b>Descripción</b>
<b>Desarrollado por docentes UIS</b>		Modelo artesanal utilizado para enseñar los niveles que dilatación cervical en gestantes. Elaborado con láminas de triplex que representan desde el grado de dilatación de 1cm hasta 10cm.
<b>Inserto de cuello uterino que hace parte de un maniquí de parto</b>		Modelo anatómico para práctica de dilatación y borramiento cervical.
<b>Simuladores elaborados por una modista</b>		Modelos de vulva en tela Pelvis femenina con cabeza de feto

**Desarrollado  
por docentes  
UIS**



Modelos de cuellos uterinos elaborados artesanalmente con medias y bolas de icopor

*Nota.* Esta tabla muestra los modelos que utilizan los estudiantes de 8vo semestre en medicina para aprender sobre la dilatación y borramiento cervical.

#### **4.1.3 Benchmarking**

Mediante un benchmarking se compararon diversos modelos anatómicos que se comercializan para borramiento y dilatación cervical. Los resultados de la búsqueda, presentados en el Apéndice B, muestran diferencias significativas en cuanto a los precios, el nivel de fidelidad y la cantidad de componentes. Estas diferencias representan una oportunidad de diseño para desarrollar en el proyecto.

#### **Figura 1**

*Ejemplos de Benchmarking*



*Nota.* Dos modelos anatómicos de borramientos y dilatación

A partir del análisis de cada uno de los productos, se observaron ciertos estándares generales que son útiles para tener en cuenta en la definición de los requerimientos del modelo.

**4.1.3.1 Resultados del benchmarking.** La mayoría de los modelos ofrecen 6 insertos cervicales con las siguientes etapas:

- No dilatado, no borrado
- 2cm dilatación, 50% borrado
- 3cm dilatado, 100% borrado
- 5cm dilatado, 100% borrado
- 7cm dilatado, 100% borrado
- 9cm dilatado, 100% borrado

Para la emulación de la vulva se identifican las siguientes partes: labios mayores, labios menores, cabeza del clítoris, orificio vaginal y cuello del útero.

Otros de los componentes que se ofrecen son: torso materno, cabeza del feto, plataforma dinámica para variación de dilatación, estuche de transporte, lubricante, instrucciones ilustradas.

- Materiales: para la emulación de la piel utilizan plásticos blandos y flexibles, para las zonas rígidas plástico duro y resinas.
- Ensamblajes: se utilizan pasadores o tornillos plásticos y ensamblajes de presión.
- Medidas: para cada inserto las medidas están entre 10-13cm alto, 10-12 cm ancho y 10-12 cm de profundidad.
- Precios: los valores varían entre 600.000COP a 5.000.000COP solo para insertos de dilatación y borramiento, para los modelos más avanzados que utilizan torsos o maniqués varían entre los 10 millones COP a 30 millones COP. Es fundamental tener presente que todos los modelos disponibles son fabricados y comercializados por empresas extranjeras, tales como Nasco Healthcare en Estados Unidos, 3B Scientific en Alemania y Limbs and Things en el Reino Unido. Como consecuencia de esta condición,

es importante señalar que los precios de estos modelos se ven incrementados debido a los impuestos y aranceles aplicados en el proceso de importación.

#### 4.1.3.2 Ventajas para destacar.

- La versatilidad y flexibilidad del cuello uterino para representar varias etapas de dilatación con un solo inserto.
- La representación anatómica correcta con todas las partes que componen la vulva y el canal vaginal.
- Palpación de las esquinas isquiáticas.
- Material de fácil limpieza y duradero.

#### 4.1.4 Identificación de procesos industriales

En el campo de la medicina, la impresión 3D ha evolucionado para cumplir con la demanda de fabricar estructuras complejas con alta resolución. Los factores claves que han impulsado el desarrollo de estas tecnologías son la calidad, la precisión, la capacidad de imprimir estructuras complejas y las propiedades mecánicas de los materiales (Klahn et al., 2020).

Uno de los métodos más comunes es la extrusión de materiales, también conocido como modelado por deposición fundida (FDM), el cual se basa en la extrusión de filamentos de polímero. Otros métodos ampliamente utilizados en la fabricación aditiva incluyen la sinterización selectiva por láser (SLS), la impresión por inyección de tinta, la estereolitografía (SLA) y deposición directa de energía (DED).

### Tabla 3

*Resumen de procesos y tecnologías utilizadas en el desarrollo de productos en medicina*

Métodos	Material es	Procesos	Aplicaciones	Beneficios	Desventajas	Resolu ción
---------	----------------	----------	--------------	------------	-------------	----------------

<b>Polimerización VAT Estereolitografía(SLA)</b>	Resina de fotopolímero Bio resina	Un líquido fotopolímero se cura mediante luz polimérica	Productos sanitarios óseos, modelos dentales, implantes dentales, guías.	Alta resolución, precisión de piezas complejas, acabado superficial más liso, configuración de impresión flexible, buena viabilidad celular.	Falta de resistencia y durabilidad afectada por la luz ultravioleta, no apta para uso intensivo toxicidad de la materia prima, selección limitada de materiales.	1.2–200 $\mu\text{m}$
<b>Modelado por deposición fundida (FDM)</b>	Filamentos continuos de polímeros termoplásticos o plásticos: ABS, nylon, PLA, PVA, hidrogeles cerámicos, biotintas.	El material se aspira a través de una boquilla, donde se calienta y se deposita capa por capa. La boquilla puede moverse horizontalmente, y una plataforma se desplaza verticalmente hacia arriba y hacia abajo después de depositar cada nueva capa.	Instrumentos y dispositivos médicos, prototipado rápido exoesqueleto, fundición de modelos anatómicos sólidos o semiflexibles.	Bajo coste generalizado, alta velocidad, simplicidad, buenas propiedades estructurales.	Propiedades mecánicas débiles, materiales limitados, acabado capa a capa baja resolución, baja velocidad, presión de contacto necesaria para aumentar la calidad.	50–200 $\mu\text{m}$
<b>Sinterizado selectivo por láser (SLS)</b>	Metales en polvo, polímeros de acero inoxidable, titanio, aluminio, cromo cobalto, cerámica de acero.	La energía térmica (láser/haz de electrones) funde selectivamente regiones de un lecho de polvo.	Modelos que requieren un entramado, dispositivos médicos como implantes y fijaciones.	Tamaño reducido, amplia gama de opciones de materiales, sin necesidad de disolventes.	Baja velocidad, falta de propiedades estructurales en materiales limitados, dependencia del tamaño del grano del polvo.	100–200 $\mu\text{m}$

<b>Deposición directa de energía (DED).</b>	Metales: cromo-cobalto, titanio	La energía térmica focalizada se utiliza para fundir materiales mientras se depositan	Comúnmente utilizado para reparar piezas existentes y construir piezas muy grandes	Puede parchear defectos en objetos existentes, alto control de grano, estructura de alta calidad rápida, construida sin necesidad de soportes, materiales compuestos.	Gama limitada de materiales, mala calidad de la superficie, costoso, baja resolución.	250–500 $\mu\text{m}$
<b>Chorro de material</b>	Polímeros plásticos: polipropileno, HDPE, PS, PMMA, PC, ABS, HIPS biotintas.	Las gotas de material de construcción se depositan selectivamente.	Modelos médicos, moldes dentales, guías de implantes dentales, bioimpresión de andamios para el desarrollo de tejidos blandos en cultivos celulares.	Alta precisión, pocos residuos, múltiples materiales, piezas y colores en un solo proceso, buena viabilidad celular.	Material de soporte necesario, materiales limitados: sólo polímeros y ceras, lento.	20–100 $\mu\text{m}$
<b>Chorro aglomerante</b>	Polímeros de acero inoxidable: ABS, PA, PC, cerámica : vidrio.	Se deposita selectivamente un agente adhesivo líquido para unir materiales en polvo.	Modelos en color, especialmente codificación en color de la anatomía.	Gama de colores múltiple, materiales más rápidos, diferentes combinaciones de aglutinante-polvo para diversas propiedades mecánicas.	No siempre adecuado para piezas estructurales, necesidad de limpieza, baja resistencia, requiere postprocesado, los polvos suponen un riesgo respiratorio.	50–400 $\mu\text{m}$
<b>Laminado de hojas</b>	Papel, plástico y chapas metálicas	Las láminas de material se unen mediante	Modelado ortopédico de superficies óseas	Alta velocidad, bajo coste, facilidad de manipulación	Dependencia del papel o del material plástico,	~ 1 mm

soldadura por ultrasonidos o láser para formar un objeto.	macroscópica s, modelos anatómicos.	de materiales, sin necesidad de estructura de soporte.	necesidad de postprocesado, deslaminación limitada del material.
---	-------------------------------------	--	--

*Nota.* Tomado de (Yasli et al., 2023).


Como se evidencia en la Tabla 3, se exponen los procesos para el desarrollo de productos en el ámbito de la medicina. En este contexto, el Modelado por Deposición Fundida (FDM) se destaca como una opción altamente favorable para la fabricación de modelos anatómicos. Esto se debe a su versatilidad, asequibilidad, facilidad de aprendizaje y uso, además de su capacidad para alcanzar un alto nivel de precisión.






#### 4.1.5 Identificación de materiales







La revisión de la literatura y la investigación de mercados realizada a través del benchmarking, identificaron los siguientes materiales como los más utilizados en la fabricación de modelos anatómicos o para la emulación de tejidos blandos y rígidos.

**Tabla 4**

*Materiales utilizados en la fabricación de modelos anatómicos*

	Nombre del material	Imagen	Ventajas	Desventajas
<b>Tejidos blandos</b>	Silicona de platino serie Dragon skin		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Durezas Shore 10A, 20A y 30<sup>a</sup></li> <li>• La más utilizada para emular piel</li> <li>• Color traslucido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo alto: 900gr \$348.000</li> <li>• Solo hay un proveedor en todo el país</li> <li>• Requiere de tintes: pack x9 \$151.550</li> </ul>

Silicona de platino serie Ecoflex		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elásticas, fuertes y resistentes al desgaste</li> <li>• Durezas Shore A 00-10, 00-30, 00-50 y 5.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo alto: 900gr \$309.000</li> <li>• Solo hay un proveedor en todo el país</li> <li>• Requiere de tintes: pack x9 \$151.550</li> </ul>
Silicona Body double		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dureza shore 25A</li> <li>• Segura al contacto con la piel</li> <li>• Traslucido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo alto: 900gr \$379.900</li> <li>• Solo hay un proveedor en todo el país</li> <li>• Requiere de tintes: pack x9 \$151.550</li> </ul>
Caucho de silicona		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dureza shore 10A</li> <li>• Más económico que las siliconas: 1kg 120.000</li> <li>• Material bastante comerciable</li> <li>• Se puede pintar con vinilo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Color blanco</li> <li>• Material espeso</li> <li>• Mayor tiempo de secado</li> </ul>
Caucho de látex		<ul style="list-style-type: none"> <li>• De fácil acceso</li> <li>• Bastante soluble</li> <li>• Se puede pintar con vinilo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Olor fuerte</li> <li>• Genera reacciones al contacto con la piel</li> <li>• Al secarse es bastante rígido</li> </ul>
Algenato		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Viene en presentación líquida y polvo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material de color azul</li> <li>• Utilizado comúnmente para moldes</li> <li>• Poca resistencia</li> </ul>

	<p>Gel balístico</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material traslúcido</li> <li>• Resistente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No es un material comerciable</li> </ul>
	<p>Filamento flexible TPU (Thermoplastic PolyUrethane), TPE (ThermoPlastic Elastomer)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buenas propiedades mecánicas</li> <li>• Resistencia a la abrasión</li> <li>• No es necesario crear moldes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El color del modelo depende del material</li> <li>• Requiere de muy buena calibración para que la impresión salga bien</li> </ul>
	<p>Espuma de poliuretano flexible</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ideal para rellenos</li> <li>• Se puede pigmentar</li> <li>• Fácil acceso</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Postprocesos</li> <li>• Acabados porosos</li> </ul>
<b>Huesos</b>	<p>Polímeros ABS, PLA</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad para personalizar la geometría con alta precisión</li> <li>• Facilidad de adopción a diferentes procesos de impresión 3D</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiempos de impresión extensos</li> <li>• Postprocesos de impresión</li> </ul>
	<p>Espuma de poliuretano aislante</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fácil aplicación</li> <li>• Costo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Material contaminante</li> <li>• Acabos porosos</li> </ul>
	<p>Yeso</p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costo</li> <li>• Fácil acceso</li> <li>• Fácil aplicación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiempo de secado</li> <li>• Poco resistente a los golpes</li> <li>• Color blanco</li> </ul>

*Nota.* Materiales comúnmente utilizados para emular tejidos blandos y sólidos, cada uno con sus ventajas y desventajas.

Al finalizar la fase de identificación, se concluye que es fundamental para los estudiantes de la UIS el uso de simuladores de media y alta fidelidad para llevar a cabo exploraciones vaginales en pacientes gestantes. Estos simuladores les permiten familiarizarse con la anatomía de la vulva, el canal vaginal y el cuello uterino, lo que facilita la realización de evaluaciones completas y precisas. A pesar de la existencia de diversos modelos en el mercado para entrenar estas habilidades, no están disponibles a nivel nacional y su costo resulta bastante elevado.

Para abordar esta situación, se propone configurar un simulador utilizando componentes disponibles en librerías 3D y adaptarlo a los requisitos establecidos para la práctica de tactos vaginales en pacientes gestantes. Este simulador se desarrollará implementando tecnología de manufactura aditiva disponible en la institución, utilizando materiales disponibles en el mercado nacional. De esta manera, se busca obtener un modelo que alcance niveles de emulación similares a los del mercado, pero a un costo más accesible, con el objetivo de satisfacer las necesidades de los usuarios.

## **4.2 Definición**

### ***4.2.1 Usuario objetivo***

Se realizó un análisis del contexto de uso de modelos anatómicos en el laboratorio de simulación de ginecología en la Universidad Industrial de Santander, a través de un estudio de campo, en dónde, se observó una clase práctica con maniquí (figura 3) para la enseñanza de un caso clínico específico de trabajo de parto.

### **Figura 2**

*Práctica en laboratorio con maniquí*



*Nota.* La ginecológica está enseñando a sus estudiantes con un maniquí

Con este estudio de campo, se determinan 2 tipos de usuarios arquetipo, estudiantes de medicina y docentes de medicina, ya que son los que entraran en contacto directo con el modelo. Se encuentran detallados en el Apéndice C. y se explican a continuación:

**1. Estudiantes de medicina:** Hombres y mujeres entre los 16 y 26 años, estudiantes de pregrado de medicina y se encuentran cursando octavo semestre en adelante, con conocimientos básicos en ginecología, con o sin experiencia en tactos vaginales con pacientes reales.

**Objetivos:** Graduarse como médico y realizar una especialización en ginecología.

**Motivaciones:** Ayudar a las personas, en específico mujeres en estado de embarazo ya que le encantan los niños.

**Frustraciones:** Al ser la medicina una carrera tan práctica, necesita aprender del error y entrenar sus habilidades durante su etapa universitaria y no llegar a cometer errores con pacientes reales. La confianza en sí mismo es poca, ya que tiene miedo a equivocarse.

**2. Expertos o docentes en medicina:** Hombres y mujeres mayores de 30 años, con título universitario en medicina o especializaciones en ginecología y obstetricia.

**Objetivos:** Enseñar a los estudiantes sobre ginecología y obstetricia.

**Motivaciones:** Los testimonios de los pacientes en el hospital que ella atiende.

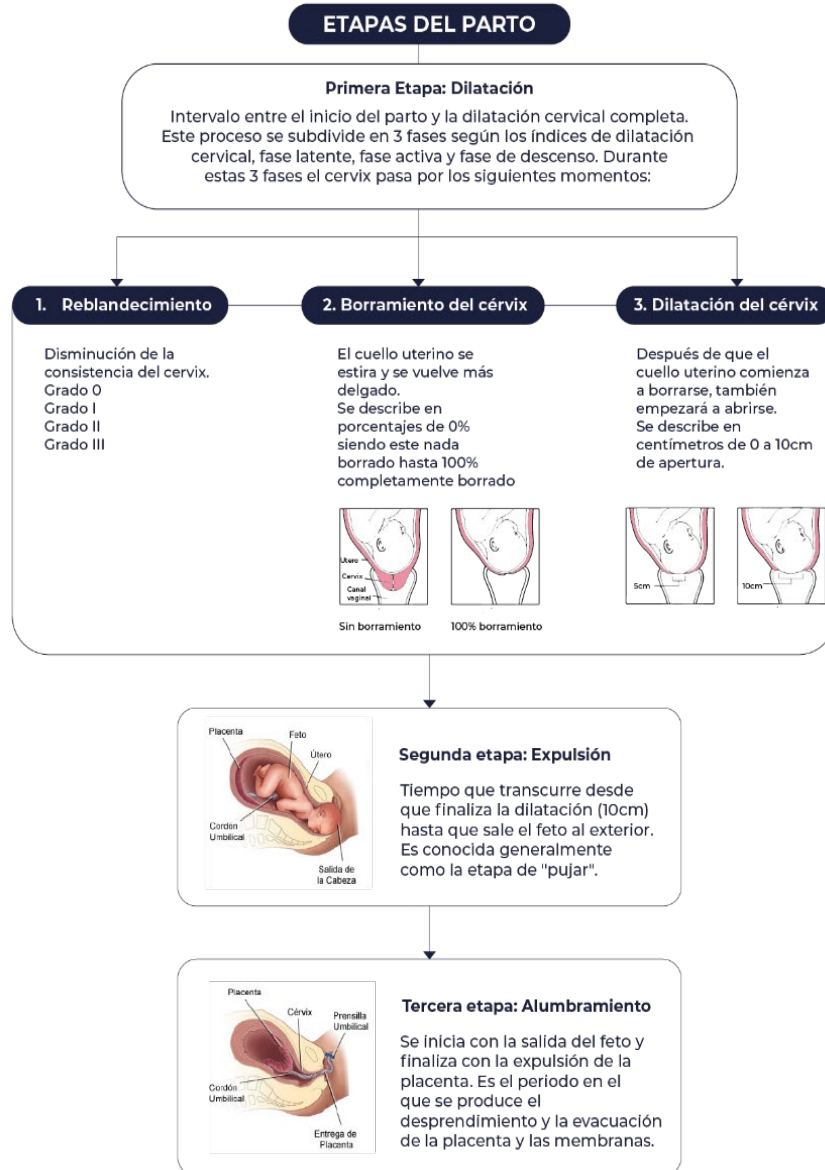
**Frustraciones:** No contar con los recursos suficientes que provee la universidad para enseñar de forma didáctica los procedimientos que difícilmente se entienden a través de la lectura.

#### ***4.2.2 Definición de actividades de entrenamiento***

Con el objetivo de definir las actividades de entrenamiento, se identifican las etapas del parto que se ilustran en la figura 4.

### **Figura 3**

*Etapas del parto normal*


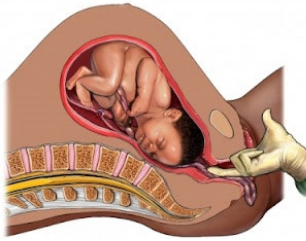


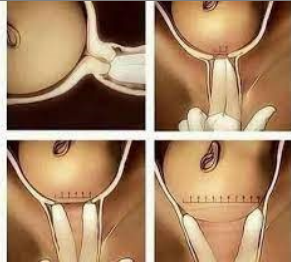
*Nota.* Tomado de (Liao et al., 2005).

El modelo anatómico se enfocará en el entrenamiento de tactos vaginales para valorar el grado de borramiento y dilatación del cervix de las gestantes. Se presenta a continuación el procedimiento para realizar una correcta valoración de tacto vaginal, de tal manera que se identifiquen las partes que entraran en contacto con el usuario (tabla 5).

**Tabla 5**

*Procedimiento de exploración de tacto vaginal*

Imagen	Actividad
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Informar a la mujer de la técnica a realizar y explicar las razones de la exploración y sus implicaciones. Obtener consentimiento.</li> <li>• Valorar si existe alergia al látex. Seleccionar guantes que no sean de látex si la mujer es alérgica.</li> <li>• Preparar el material y trasladarlo al lado de la mujer.</li> <li>• Pedirle a la mujer que vacíe la vejiga antes del procedimiento si lo desea. Si es portadora de anestesia epidural, valorar la necesidad de sondaje vesical.</li> <li>• Favorecer un clima de confianza, seguridad e intimidad, respetando la privacidad, dignidad y comodidad durante la exploración.</li> <li>• Colocar a la mujer en posición decúbito supino con los muslos flexionados y aducidos (posición ginecológica).</li> <li>• Realizar lavado de manos higiénico.</li> <li>• Colocar guantes estériles.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Con los dedos pulgar y anular separar los labios mayores y menores para entreabrir el introito.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Insertar los dedos índice y medio bien lubricados de la mano dominante en la vagina hasta que toque el cérvix. Los dedos se introducen unidos y rígidos, deprimiendo el periné hacia abajo, reconociendo así el estado de la vagina, el relieve de los elevadores del ano y la integridad del periné. Se llega hasta contactar con el cuello del útero.</li> </ul>

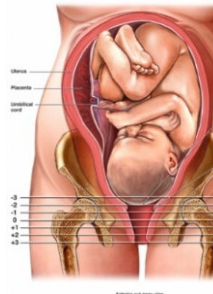


- Palpar si en el cuello hay una apertura o depresión. Estimar el diámetro de la depresión para identificar el grado de dilatación.
- El grado de dilatación cervical se mide en centímetros. El parto se inicia cuando es de 2-3 centímetros y llega a la dilatación completa cuando no se alcanza el cuello por delante de la presentación, que suele ser a los 10 cm. El grado de borramiento del cuello se mide en porcentaje sobre el resto del canal que permanece o directamente determinando la longitud en cm entre el orificio cervical interno y el externo.

- Observar si se produce salida de líquido amniótico, color y olor.



- Palpar la presentación fetal (porción del feto que entra primero en la pelvis).



- Valorar el descenso fetal: valorar la altura de la presentación e identificar la posición de la fontanela posterior, menor o lambdaidea.

- Retirar suavemente los dedos.

*Nota:* Tomado de Meseguer et al., 2012

#### 4.2.3 Componentes del modelo

Teniendo en cuenta la previa definición del procedimiento que deben realizar los expertos para hacer tactos vaginales, se definen los siguientes componentes que debe tener el modelo anatómico:

**Exterior**

- Vulva: Labios mayores, labios menores, clítoris, abertura de la vagina
- Estructura que sostenga todos los tejidos blandos

**Interior**

- Canal vaginal
- Cuello uterino con diferentes variaciones de dilatación y borramiento

**4.2.4 Medidas antropométricas**

A partir de la literatura (Barnhart et al., 2006; Thomas, 2019) en la tabla 6 se describen las medidas antropométricas asociadas con la escala real de la vulva, el cuello uterino, el canal vaginal y la cabeza del feto.

**Tabla 6**

*Medidas antropométricas de los componentes del modelo*

	<b>Órgano simulado</b>	<b>Unidades</b>	<b>Rangos dimensionales</b>	<b>Componente</b>
<b>Antropometría</b>	Escala real de la Vulva	cm	0,4–6,4 cm largo	Labios internos
			2cm Ancho	Labios externos
		mm	26,15 mm	Introito
		cm	0.2 – 2cm largo 1cm Ancho	Clítoris
	Escala real del canal vaginal	mm	80 mm longitud 41.9 mm Ancho	Canal vaginal
	Escala real del cuello uterino	cm	3cm 0% 1.5 cm 50% 0 cm 100%	Borramiento

	cm	4mm hasta 10 cm	Dilatación
Cabeza del feto	mm	35cm Circunferencia	Cabeza del feto

#### 4.2.5 Requerimientos y parámetros

Considerando las necesidades de los usuarios, que se identificaron a través de las visitas al laboratorio de ginecobstetricia, se han identificado los siguientes aspectos fundamentales para el desarrollo de un modelo anatómico destinado a tactos vaginales:

- El modelo debe emular las partes de la vulva, cuello uterino y canal vaginal, incluyendo la forma, tamaño y posición de las diferentes estructuras que la conforman.
- Debe permitir la visualización y manipulación de las diferentes etapas de dilatación y borramiento presentadas en el cuello uterino.
- Debe representar la anatomía y escala real de una vulva.
- Uso cómodo y seguro, con características como una base estable y una posición adecuada para el examen y la manipulación de las diferentes estructuras.
- Los materiales deben ser seguros para su uso, de fácil limpieza y estar libres de sustancias tóxicas.
- Debe tener un nivel de fidelidad medio que emule los tejidos blandos y rígidos.

Se implementó un cuestionario de asignación de importancia con el fin de evaluar cualitativamente los elementos más relevantes. Además, se consultó con expertos para determinar las partes esenciales que debe incluir el modelo anatómico, lo que permitió establecer la lista de requerimientos detallada (ver Tabla 7). La elaboración del cuestionario involucró la realización de encuestas dirigidas a un grupo de 6 usuarios, entre los cuales se incluyeron dos docentes de la UIS, una estudiante de posgrado en ginecobstetricia y tres estudiantes de medicina. En el Apéndice D se encuentran las encuestas realizadas a los docentes y estudiantes.

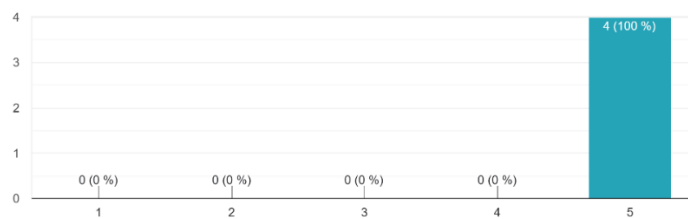
#### 4.2.5.1 Resultados obtenidos en el cuestionario

##### Figura 4

*Nivel de importancia de la fidelidad del modelo funcional y estéticamente*

De 1 a 5 que tan importante es la fidelidad funcional (nivel de realismo de las etapas del cuello uterino), siendo 5 muy importante

4 respuestas



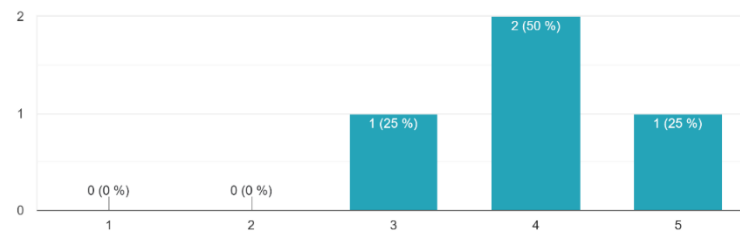
La fidelidad del modelo es muy importante, tanto en el aspecto físico como funcional ya que el 100% de los participantes seleccionaron la opción muy importante.

##### Figura 5

*Nivel de importancia de emulación de todas las etapas de dilatación*

De 1 a 5 que tan importante es la representación de todas las etapas de dilatación de 0 a 10cm

4 respuestas

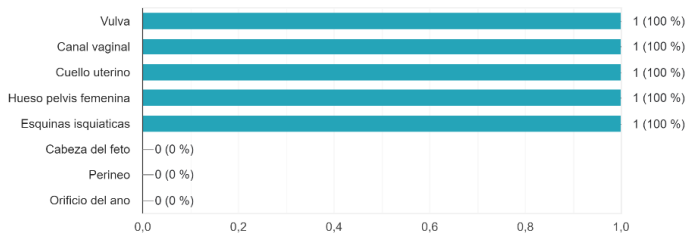


Según los usuarios, se deben presentar las diferentes etapas tanto de borramiento como dilatación del cuello uterino ya que el 85% lo considera importante o muy importante.

**Figura 6***Componentes que debería tener el modelo*

Teniendo en cuenta las actividades de aprendizaje para tactos vaginales en borramiento y dilatación, seleccione las partes que debe componer el modelo

1 respuesta



Los componentes que debería tener el modelo según los expertos es la vulva, canal vaginal, y cuellos uterinos.

**Tabla 7***Tabla de requerimientos y parámetros*

Categoría	Descripción	Parámetro Unidad de medida	Valor(es) de aceptación	Parte o componente relacionado	Test	Momento de la verificación de requerimiento
<b>Funcional</b>	Permite hacer exámenes tacto vaginal	Cumple/no cumple	Cumple	Todo el modelo	Verificación con expertos	Ideación
	Sistema para insertar diversos cuellos uterinos	Cumple/no cumple	Cumple	Insertos de los cuellos uterinos	Pruebas en laboratorio	Testing
	Estructura que permita ubicar en superficies planas	Cumple/no cumple	Cumple	Todo el modelo	Pruebas en laboratorio	Ideación
<b>Formal estético</b>	Emulación de características visuales	Color, textura y rigidez	Cumple	Todo el modelo	Validación con usuario	Testing
	Emulación de partes anatómicas	Geometrías internas y externas	Cumple	Todo el modelo	Validación con usuario	Testing
<b>Componentes</b>	El modelo debe contener las siguientes partes y componentes:	Cumple/no cumple	Cumple	Vulva, canal vaginal, cuello del	Verificación en la definición	Definición

	Vulva, Canal vaginal, cuello uterino, cabeza del feto y estructura de soporte.			útero, estructura de soporte y mecanismo de apertura		
<b>Versatilidad</b>	Tiene componentes reemplazables de cuellos uterinos	Número de insertos de cuello	3 a 6 insertos max	Cuello uterino	Modelado 3D	Prototipado
	Etapas de borramiento	Porcentaje	0% 50% 100%	Cuello uterino	Pruebas de materiales	Testing
	Etapas de dilatación	Cm	0,4 a 10 cm	Cuello uterino	Pruebas de materiales	Testing
<b>Seguridad</b>	Manual de uso	Eficacia del modelo	% de eficacia	Manual de instrucciones	Validación con usuario	Diseño de detalle
<b>Usabilidad</b>	Indicadores de porcentaje de borramiento	Centímetros	De 0,4 a 10cm	Cuello uterino	Alternativa final	Ideación
	Indicadores de dilatación	Porcentaje	0% 50% 100%	Cuello uterino	Alternativa final	Ideación
	Lenguaje de uso claro	Efectividad y satisfacción	% de eficacia	Todo el modelo	Escala de likert	Testing
<b>Material</b>	Resistente a la limpieza con agua, jabón y alcohol	Resistencia al contacto	Cumple	Todo el modelo	Verificación de resistencia	Testing
	Resistente a la tracción	Tracción	10cm	Vulva, cuello del útero	Verificación de tracción	Prototipado
	Emulación de tejidos blandos	Cumple/no cumple	Cumple	Vulva, canal vaginal y cuello uterino	Prueba de materiales	Definición
<b>Antropometría</b>	Escala real de la Vulva tomado de un modelo disponible en librerías 3D	cm	0,4–6,4 cm largo 2 cm Ancho	Labios internos	Cálculo de medidas en modelado 3D y prototipo real	Testing
			8 cm largo	Labios externos	Cálculo de medidas en modelado 3D y prototipo real	Testing

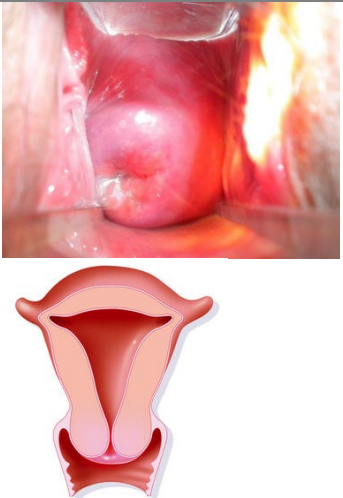
Escala real del canal vaginal modelado en 3D	mm	80mm longitud	Canal vaginal	Cálculo de medidas en modelado 3D y prototipo real	Testing
Escala real del cuello uterino adaptado a modelo de cabeza del feto disponible en facultad de salud	cm	3cm : 0% 1.5cm : 50% 0cm : 100%	Borramient o	Cálculo de medidas en modelado 3D y prototipo real	Testing
	cm	4mm - 10 cm	Dilatación	Cálculo de medidas en modelado 3D y prototipo real	Prototipado

#### 4.2.6 Definición de características visuales y físicas

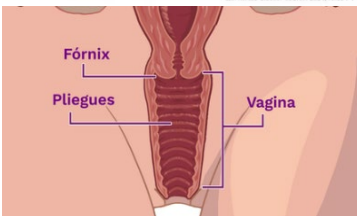
Para la definición de las características visuales y físicas de cada uno de los componentes se desarrollaron entrevistas con expertos, búsqueda bibliográfica y comparación física por imágenes, para garantizar el grado de cumplimiento de la experiencia de inmersión en el modelo. Se detallaron los siguientes aspectos: Composición, medidas, geometría, color y textura.

**Tabla 8**

*Caracterización de los componentes*

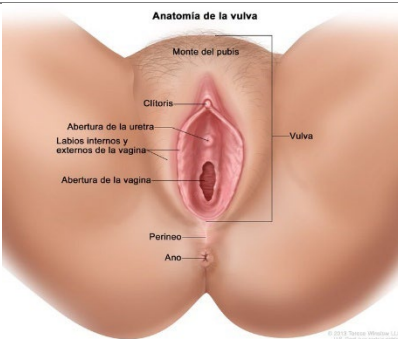
<b>Cuello uterino</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Composición: Cilindro de tejido fibromuscular.</li> <li>• Medidas: 3cm largo en estado normal y 2,5 cm de diámetro.</li> <li>• Geometría: Está constituido por dos capas: la más interna se denomina endometrio y por fuera de ella se sitúa la capa muscular o miometrio.</li> <li>• Color: Rosa pálido.</li> <li>• Textura: Lisa.</li> </ul>

### Canal vaginal



- Composición: Tubo musculo membranoso conformado por numerosos pliegues internos.
- Medidas: 8-10 cm largo, 41.9 mm Ancho.
- Rigidez: La pared de la vagina es fina y elástica.
- Geometría: Constituida por tres capas: la adventicia externa, la capa muscular media y la mucosa interna.
- Textura: Rugosa con pliegues
- Color: Rosa oscuro

### Vulva



- Composición: La vulva es el conjunto de los genitales femeninos: incluye los labios vaginales, el clítoris, la abertura vaginal y el orificio uretral (por donde se orina).
- Medidas:
  - Labios internos: 0,4 – 6 cm largo
  - Labios externos: 8cm largo
  - Introito: 26 mm
  - Clítoris: 0.2 2cm largo

#### Labios vaginales:

- Geometría: Pliegues de piel alrededor de la abertura vaginal. Los labios mayores (labios externos) generalmente son carnosos y están cubiertos de vello púbico. Los labios menores (labios internos) están dentro de los externos. Empiezan en el clítoris y terminan debajo de la abertura vaginal.
- Color: Varían desde rosa piel al marrón

- 
- Textura: Arrugados o lisos
- 

**4.2.6.1 Densidades por estructuras:** Para la caracterización de las estructuras se describen los rangos de densidades tomado de la literatura (Mejía Sandoval & Riaño Sánchez, 2021), con el objetivo de realizar una búsqueda optima de materiales que cumplan con los mismos rangos de densidad (Tabla 9).

**Tabla 9**

*Densidades por estructuras*

<b>Estructura</b>	<b>Densidad Min (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad Max(g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Módulo de Young</b>
<b>Músculo</b>	0,097354497	1,026455026	
<b>Piel</b>	0,400485437	1,856256742	4,6 y 20 Mpa

*Nota.* Tomado de (Mejía Sandoval & Riaño Sánchez, 2021).

#### **4.2.7 Caracterización de materiales**

**4.2.7.1 Búsqueda de materiales:** A través del software CES-EDUPACK 2021 se realiza una búsqueda de materiales ya que esta herramienta proporciona información sobre las propiedades físicas y mecánicas de los materiales, lo que ayuda a seleccionar el material más adecuado para el proyecto.

En la primera etapa de la búsqueda, se ingresaron los datos encontrados de la caracterización de componentes en términos de densidad y límite elástico de la piel.

**Figura 7**

*Propiedades de densidad y límite elástico de la piel ingresados en CES EDUPACK*

Límite

Configuración

[¿No encuentras la propiedad que estás buscando?](#)

**General properties**

	Minimo	Máximo	
Density	<input type="text" value="400"/>	<input type="text" value="1856"/>	kg/m <sup>3</sup>
Price	<input type="text"/>	<input type="text"/>	COP/kg

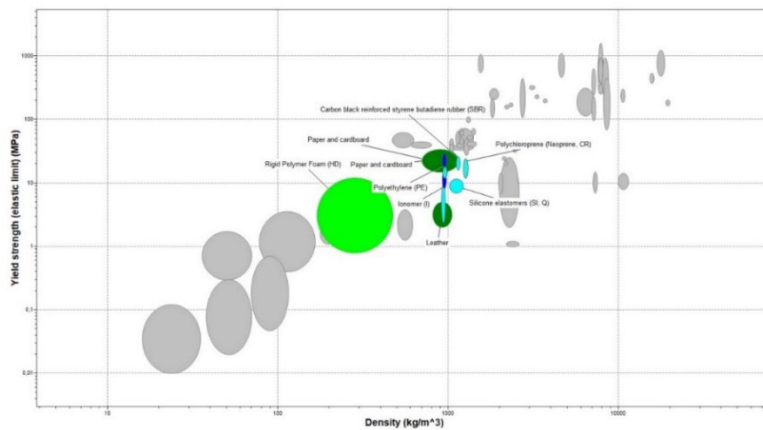
**Mechanical properties**

	Minimo	Máximo	
Young's modulus	<input type="text"/>	<input type="text"/>	GPa
Yield strength (elastic limit)	<input type="text" value="4,6"/>	<input type="text" value="20"/>	MPa
Tensile strength	<input type="text"/>	<input type="text"/>	MPa

Como primer resultado se obtienen 10 materiales disponibles (figura 8), 5 de ellos son de la familia de los elastómeros (figura 9) que se encuentran dentro de los rangos de densidad de la piel.

**Figura 8**

*Materiales disponibles para la emulación de la piel*



**Figura 9**

*Elastómeros disponibles para la emulación de la piel.*

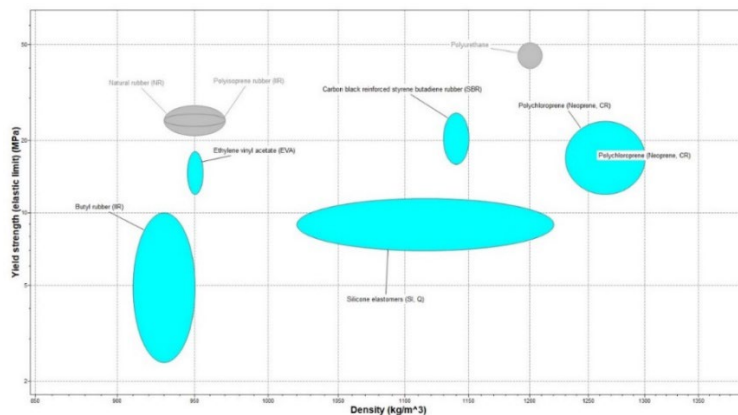








Tabla 10

## Lista de proveedores

<p><b>Ingequímica</b></p> <p><b>Caucho de silicona</b></p> 	<p><b>Especificaciones</b></p> <p>Ubicación: Bucaramanga  Material: Caucho de silicona  Cantidad: 250 gr  Precio: 22.000  <a href="https://www.ingequimicas.com/">https://www.ingequimicas.com/</a></p>
<p><b>Panamericana</b></p> <p><b>Caucho de latex</b></p> 	<p><b>Especificaciones</b></p> <p>Ubicación: Bucaramanga  Material: Caucho de latex  Cantidad: 120 gr  Precio: 7.000</p>
<p><b>Espacio 4D</b></p> <p><b>Caucho de silicona</b></p> 	<p><b>Especificaciones</b></p> <p>Ubicación: Medellín  Material: Caucho de silicona  Cantidad: 500 gr  Precio: 60.000 COP</p> <p><a href="https://www.espacio4d.com/producto/caucho-de-silicona-catalizador/">https://www.espacio4d.com/producto/caucho-de-silicona-catalizador/</a></p>
<p><b>Construquímicos</b></p> <p><b>Caucho de silicona</b></p> 	<p><b>Especificaciones</b></p> <p>Ubicación: Bogotá  Material: Caucho de silicona  Cantidad: 1Kg  Precio: 150.000  <a href="https://construquimicos.com.co/productos-destacados/47-caucho-de-silicona-rtv-200.html">https://construquimicos.com.co/productos-destacados/47-caucho-de-silicona-rtv-200.html</a></p>
<p><b>Esquim</b></p> <p><b>Caucho de silicona</b></p>	<p><b>Especificaciones</b></p> <p>Ubicación: Bogotá</p>



Material: Caucho de silicona  
 Cantidad: 1Kg  
 Precio: 137.000  
[carbonfiberstocks.mercadoshops.com.co](http://carbonfiberstocks.mercadoshops.com.co)

### Carbon fiber stocks

### Especificaciones

#### Silicona Dragon Skin ECOFLEX 00-30



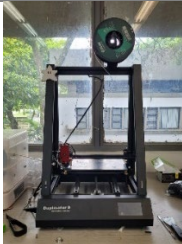
Ubicación: Medellín y Bogotá  
 Material: Silicona  
 Cantidad: 1Kg  
 Precio: 101,526  
<https://sumiglas.com/>

El promedio de costo de 1Kg de Caucho de silicona está entre los \$120.000 COP y \$150.000 COP, se comercializan principalmente en ciudades como Bogotá, Medellín y Bucaramanga a través de páginas web o por contacto directo en WhatsApp, el costo de envío varía dependiendo la ciudad.

**4.2.7.3 Identificación de tecnología:** Se describen las impresoras 3D disponibles para la ejecución de proyectos de investigación UIS, ubicadas en el Parque Tecnológico Guatiguará.

**Tabla 11**

*Tecnologías disponibles en la Universidad Industrial de Santander*

Nombre	Imagen	Especificaciones
Duplicator 9		<p>Tecnología: Modelado por deposición fundida (FDM)</p> <p>Volumen de impresión: 30x30x40cm (36 Litros)</p> <p>Material: PLA</p>

<b>Sinterit Lisa Pro</b>		Tecnología: Sinterización selectiva por láser (SLS) Volumen de impresión: 110 x 150 x 250 [mm] Material: TPU
<b>Formlabs Form 3+</b>		Tecnología: Low Force Stereolithography (LFS) Resolución XY: 25 micras Volumen de impresión: 14,5 × 14,5 × 18,5 cm Material: Resina
<b>3D-Systems ProJet 260C</b>		Tecnología: Chorro de aglomerante (un solo paso) Volumen de impresión: 236 × 185 × 127 mm Material: Polvo cerámico

Cada una de estas máquinas utiliza diferentes tipos de tecnologías para crear objetos tridimensionales, como son la estereolitografía (SLA), la fusión por deposición fundida (FDM), la sinterización selectiva por láser (SLS) y la impresión 3D por chorro aglomerante. Cada tecnología tiene sus propias ventajas y desventajas. La Duplicator 9 es una impresora 3D FDM de escritorio asequible. Es una buena opción para la impresión de piezas como moldes que no superen un área de impresión de 220 x 220 x 250 mm, sin embargo, el nivel de detalle es inferior a otras como la Formlabs Form 3+ o la 3D-Systems ProJet 260C.

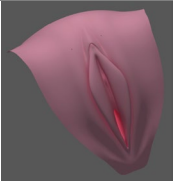
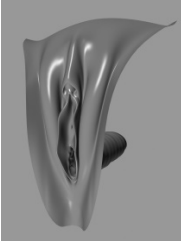


En el contexto de este proyecto, la elección de la impresora más apropiada recae en la Duplicator 9. Esto se debe a que las piezas requeridas no demandan un nivel de detalle extremadamente alto. Esta impresora ofrece un costo por tiempo de impresión y material significativamente más económico en comparación con otras alternativas disponibles.

#### 4.2.8 Selección de componentes en librerías 3D

Se analizaron diversos modelos 3D de vulvas disponibles en el sitio web 3dexport.com. y se consideraron los criterios de fidelidad, cantidad de partes, precio y tipo de archivo, para la elección del modelo final.

**Tabla 12**

*Modelo de vulva disponibles en las librerías 3D*

	Modelo	Nivel de fidelidad:	Componentes y partes	Precio	Tipo de archivo	Librería:
Modelo 1		Bajo	No incluye canal vaginal	\$5 USD	Max 3ds Fbx Jpg Obj stl	<a href="https://es.3dexport.com/3dmodel-female-genital-realistic-vagina-118376.htm">https://es.3dexport.com/3dmodel-female-genital-realistic-vagina-118376.htm</a>
Modelo 2		Alto	Incluye canal vaginal Tiene todas las partes de la vulva	\$4.50 USD	Max Fbx Jpg Obj stl	<a href="https://es.3dexport.com/3dmodel-female-genital-realistic-vagina-166011.htm">https://es.3dexport.com/3dmodel-female-genital-realistic-vagina-166011.htm</a>
Modelo 3		Alto	No incluye canal vaginal Tiene todas las partes de la vulva Incluye orificio ano	\$17 USD	3ds	<a href="https://es.3dexport.com/3dmodel-female-vagina-197098.htm">https://es.3dexport.com/3dmodel-female-vagina-197098.htm</a>
Modelo 4		Alto	Tiene todas las partes de la vulva Su geometría es la más adecuada para imprimir en 3D	\$9 USD	Obj Fbx Max Stl	<a href="https://es.3dexport.com/realistic-female-vagina-Modelo-3D-in-Anatomia-3DExport">realistic female vagina Modelo 3D in Anatomía 3DExport</a>

Se seleccionó el modelo 4, ya que este satisface todos los criterios establecidos. Además de representar todas las partes de la vulva, presenta un alto nivel de fidelidad, su geometría es adecuada para la impresión de moldes y su precio resulta asequible.

### 4.3 Ideación

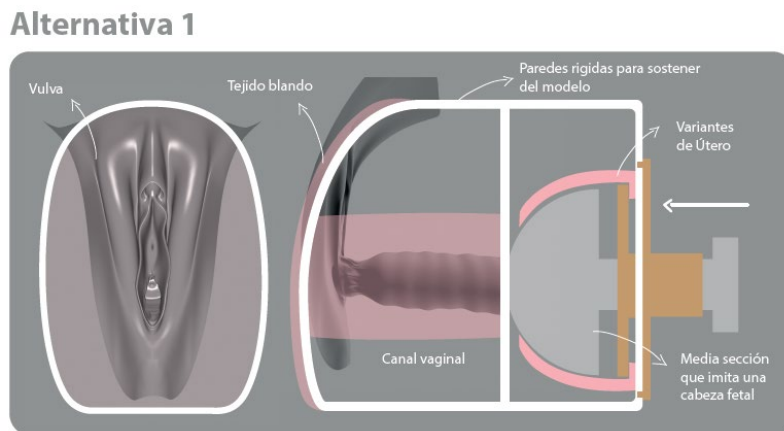
Finalizada la etapa de definición, se continúa con la fase de ideación, en donde se trabaja la conceptualización y creación de alternativas a partir de los parámetros y requerimientos definidos. A continuación, se describen las 4 alternativas planteadas.

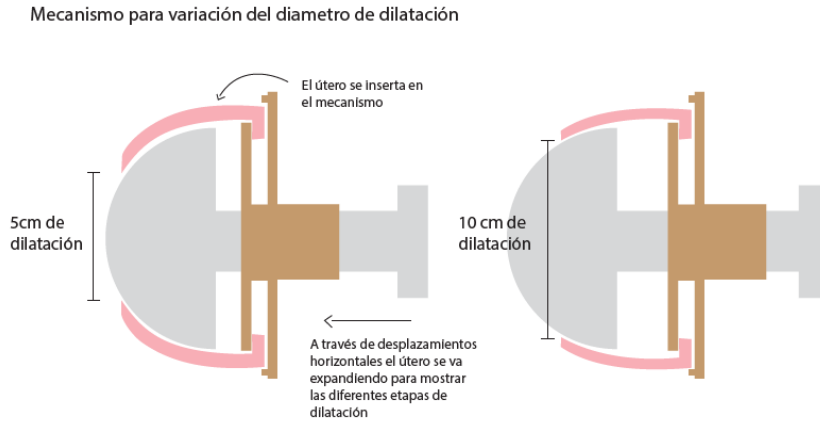
#### 4.3.1 Alternativa #1

Como se muestra en la figura 11, el modelo consta de una estructura cerrada que tiene un mecanismo de tipo embolo en la parte posterior, donde se encuentra la cabeza del feto. Este mecanismo permite que la cabeza se desplace dentro del útero y realice la apertura del cuello del cervix. Requiere de un embolo para cada inserto de cuello, ya que el tejido blando elaborado en silicona debe estar sujeto a una base sólida para que se puedan expandir.

### Figura 11

#### Alternativa 1. Modelo con embolo



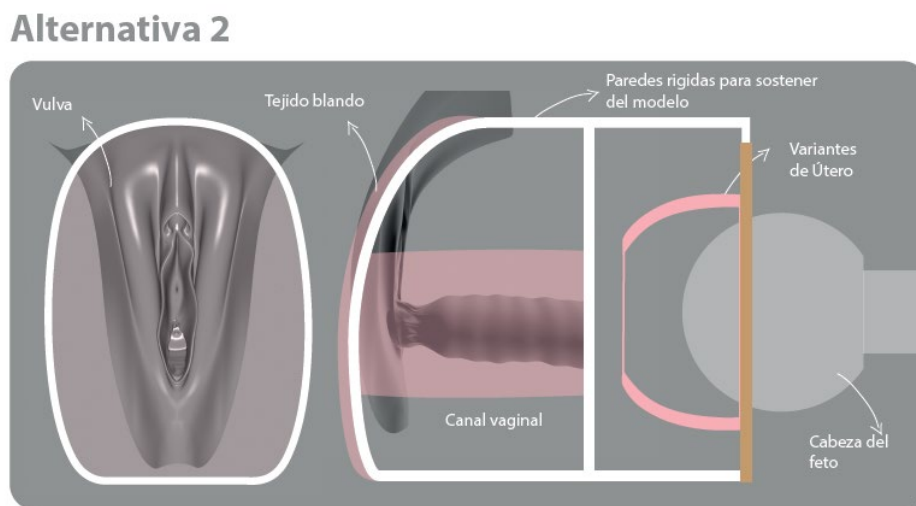


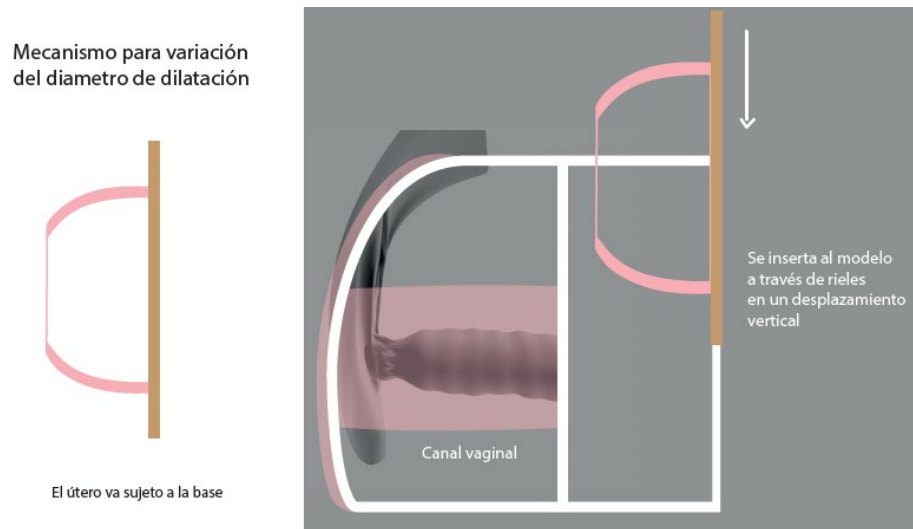
#### 4.3.2 Alternativa #2

La figura 12 muestra la alternativa #2 con una variación en el mecanismo para insertar los cuellos, este cuenta con una estructura que permite ingresar los cuellos desde la parte superior, a través de unos rieles, permitiendo fácilmente el cambio de cada uno de los insertos. La cabeza del feto se manipula una vez esté el inserto ubicado dentro de la estructura.

### Figura 12

*Alternativa 2. Modelo con insertos de cervix separados*



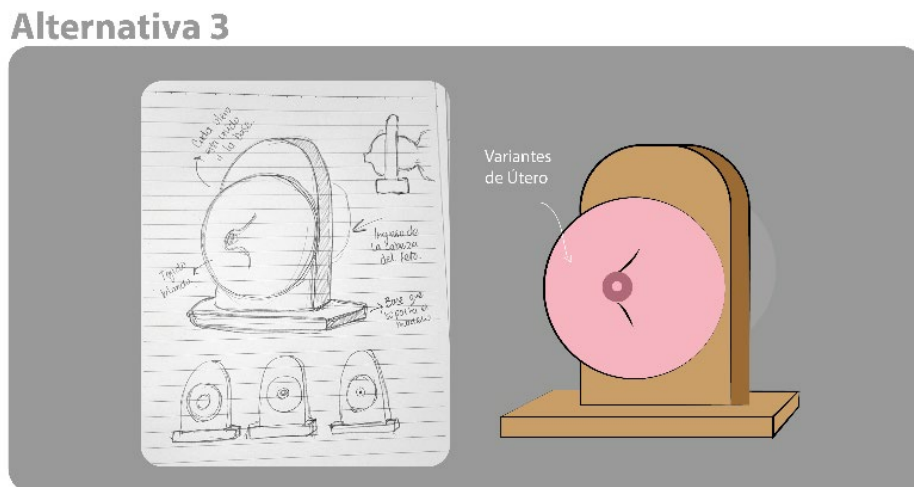


### 4.3.3 Alternativa #3

El modelo permite visualizar los diversos cuellos que se pueden presentar en un trabajo de parto y en la parte posterior se ingresa la cabeza del feto. Cada cuello tiene una base que lo soporta.

### Figura 13

*Alternativa 3. Modelo de cuellos uterinos*



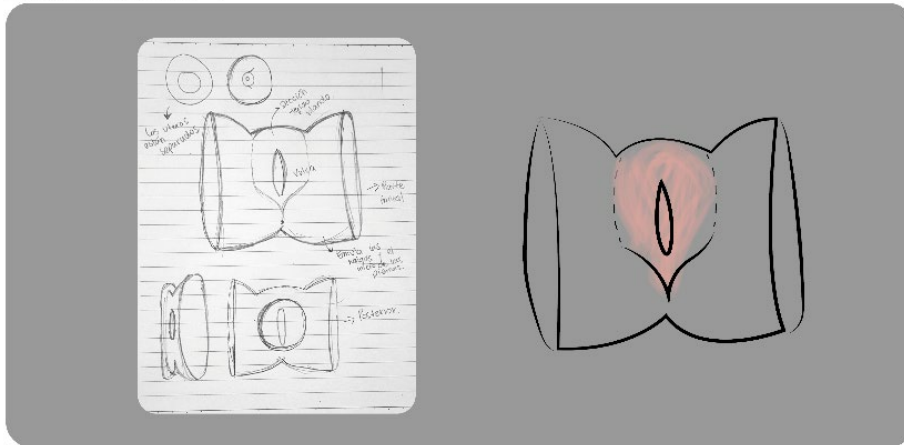
### 4.3.4 Alternativa #4

El modelo cuenta con una estructura que emula un torso femenino y cuenta con un espacio en la parte posterior para insertar los cuellos uterinos.

**Figura 14**

*Alternativa 4. Modelo con pelvis*

#### Alternativa 4



#### 4.3.5 Selección de alternativa

**4.3.3.1 Evaluación de las alternativas:** El Proceso Analítico Jerárquico (AHP) es una técnica que simplifica la selección de alternativas de un producto a través de una estructura jerárquica. Comienza con la definición del objetivo, identifica criterios, enumera las alternativas, y crea una matriz de comparación para ponderar la importancia de cada criterio. Luego, se evalúan las alternativas en función de estos criterios, se calculan las puntuaciones finales y se selecciona la alternativa con la puntuación más alta. El AHP proporciona un enfoque sistemático y cuantitativo para tomar decisiones basadas en criterios ponderados, lo que facilita la elección de la mejor alternativa de manera más objetiva.

Para iniciar con la evaluación, se define como objetivo principal seleccionar la alternativa final que cumpla con todos los criterios de aceptación que se definen a continuación:

1. Versatilidad de los insertos

2. Fácil uso y manipulación del producto
3. Nivel de fidelidad media-alta
4. Funcionalidad del modelo: Entrenamiento de habilidades para tactos

Después de definir los criterios, el método sugiere la necesidad de jerarquizarlos para determinar su relevancia. Esto se logra al compararlos individualmente mediante el uso de una matriz de comparación llamada Escala Fundamental.

**Tabla 13**

*Escala fundamental*

ESCALA NÚMÉRICA	ESCALA VERBAL	EXPLICACIÓN
1	Igualmente importante	Dos elementos contribuyen en igual medida al objeto
3	Moderadamente Importante	Preferencia leve de un elemento sobre el otro
5	Fuertemente Importante	Preferencia fuerte de un elemento sobre el otro
7	Importancia muy fuerte o demostrada	Mucha más preferencia de un elemento sobre otro (Predominancia demostrada)
9	Importancia extremadamente fuerte	Preferencia clara y absoluta de un elemento sobre el otro
<b>2,4,6,8</b>		Intermedio de los valores anteriores

Se realizó una comparación entre las matrices correspondientes a cada uno de los criterios. Esto permite determinar cuál es la alternativa en función de los cuatro criterios previamente establecidos y su respectiva importancia. En el apéndice F se encuentran cada una de las tablas en donde se comparan las 4 alternativas con los 4 criterios a evaluar.

Como resultado del proceso de evaluación (Tabla 14), el criterio con mayor relevancia es el #4 Funcionalidad del modelo en cuanto al entrenamiento de habilidades para tactos, seguido del criterio #1 Versatilidad de los insertos, es decir que se puedan adaptar a diferentes grados de

dilatación y borramiento, en tercer lugar, se encuentra el criterio #3 el nivel de fidelidad del modelo debe ser medio-alto y el criterio con menor relevancia respecto a los otros es el #2 Facilidad de uso y manipulación del producto.

**Tabla 14**

*Comparación de criterios*

MATRIZ DE COMPARACIÓN DE CRITERIOS									
	CRITERIO 1	CRITERIO 2	CRITERIO 3	CRITERIO 4	MATRIZ NORMALIZADA				POND ERAC IÓN
<b>CRITERIO 1</b>	1	5	5	1/8	0,11	0,42	0,44	0,07	0,26
<b>CRITERIO 2</b>	1/5	1	1/4	1/2	0,02	0,08	0,02	0,27	0,10
<b>CRITERIO 3</b>	1/5	4	1	1/5	0,02	0,33	0,09	0,11	0,14
<b>CRITERIO 4</b>	8	2	5	1	0,85	0,17	0,44	0,55	0,50
<b>TOTAL</b>	9,40	12,00	11,25	1,83					

Al concluir el proceso (Tabla 15), se determina que la alternativa número 2 destaca como la opción más priorizada en relación con los cuatro criterios previamente definidos.

**Tabla 15**

*Matriz de comparación*

	Criterion 1	Criterion 2	Criterion 3	Criterion 4	Priorización
<b>Alternativa 1</b>	0,32	0,21	0,11	0,34	0,29
Alternativa 2	0,49	0,59	0,43	0,31	0,40
Alternativa 3	0,12	0,12	0,09	0,25	0,18
Alternativa 4	0,07	0,08	0,36	0,10	0,13
Ponderización	0,26	0,10	0,14	0,50	

#### 4.4 Prototipado

Esta etapa se enfocó en la elaboración de pruebas y prototipos del modelo con el propósito de validar la funcionalidad y el cumplimiento de los requerimientos.

#### ***4.4.1 Pruebas y resultados con los materiales***

Con base en la información obtenida durante la caracterización de los materiales que componen la piel y los músculos, se optó por seleccionar dos tipos elastómeros para realizar las pruebas: caucho de silicona y caucho de látex. Los materiales fueron seleccionados cumpliendo los rangos de densidad y límite elástico necesarios, además de ser de fácil acceso y tener un costo asequible. Se fabricó un molde en yeso de un modelo hecho en arcilla que emula un cuello uterino.

En la figura 15 se muestra un modelo de cuello de 5cm de dilatación y 100% de borramiento con caucho de látex. Por otra parte, en la figura 16 se muestra un modelo elaborado con caucho de silicona, los dos se tinturaron con un vinilo rojo convencional. Se identificó inicialmente que el material de látex al tomar una consistencia sólida es muy rígido, por lo tanto, va a generar inconvenientes al momento de abrirse para mostrar las variaciones de las dilataciones. Sin embargo, el proceso de vaciado en el molde es mucho más rápido y fácil que con el caucho de silicona, ya que es mucho más soluble cuando se encuentra en estado líquido.

#### **Figura 15**

*Modelo inicial para pruebas de material con látex*



El modelo elaborado en caucho de silicona presenta una rigidez inferior al del látex, de manera que permite dilatarse hasta los 10cm, que es el diámetro máximo que llega a expandirse

un cuello cuando está en trabajo de parto. También se hizo una prueba de resistencia del material en donde se dejó toda la noche introducido sobre una estructura cilíndrica de aproximadamente 10cm de diámetro, para poder ver su comportamiento al siguiente día. Como se evidencia en la figura 16, el modelo se rompió por falta de uniformidad y medía aprox 1mm de espesor, por lo tanto, se define un espesor final 3mm.

### **Figura 16**

*Modelo inicial para pruebas de material con caucho de silicona*



El prototipo fue validado también con la opinión de los expertos para definir el material que va a emular los tejidos blandos y se recomendó que entre menos rígido sea el cuello uterino tiene mayor fidelidad con los tejidos reales de un útero en trabajo de parto, de manera que el caucho de silicona es el material que presenta las características más indicadas para emular los tejidos blandos.

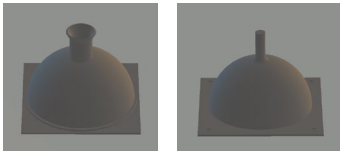
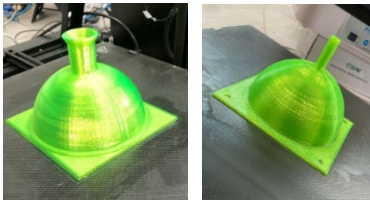
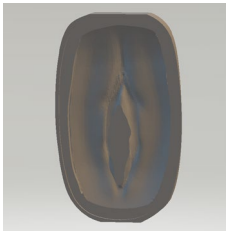

#### 4.4.2 Fabricación del prototipo

Se diseñaron tres moldes para cada componente que va elaborado en caucho de silicona, que incluyen los cuellos uterinos, la vulva y el canal vaginal. Cada uno de estos moldes ha sido diseñado siguiendo los principios del diseño para manufactura. El propósito es que requieran la menor cantidad de material posible, puedan ser reutilizados en la producción de más prototipos y permitan la creación de piezas con una alta fidelidad.

Se han fabricado las piezas mediante la tecnología de Modelado por Deposición Fundida (FDM) utilizando ácido poliláctico (PLA) como material, empleando una impresora Duplicator 9. Cada pieza fue diseñada en el programa Fusión 360 y posteriormente convertida al formato STL para su impresión. En la tabla 13 se muestra cada uno de los moldes en Fusion 360 e impresos en PLA.

**Tabla 16**

*Moldes impresos en 3D*

Componente	Modelado 3D en Fusion 360	Impresión 3D en PLA
Molde Cuellos uterinos		 <p>Tiempo: 10 horas Cantidad de material: 175g</p>
Molde Vulva		 <p>Tiempo: 5 horas</p>

---

Cantidad de material: 130g

---

Molde Canal vaginal



Tiempo: 6 horas

Cantidad de material: 145g

---

Se prepararon los modelos para las verificaciones y validaciones se elaboró una estructura de cartón piedra debido a su bajo costo, lo que facilitó la realización de pruebas con los participantes. Los componentes fabricados en caucho de silicona se unieron al cartón piedra utilizando el mismo material de silicona, eliminando así la necesidad de recurrir a cualquier tipo de adhesivo o mecanismo de ensamblaje.

### Figura 17

*Prototipo para verificaciones y validaciones*






## 4.5 Testing

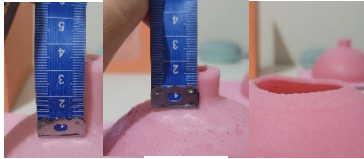


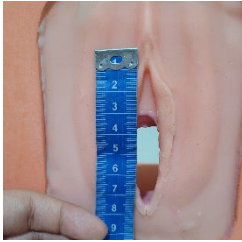

### 4.5.1 Verificaciones


Se llevaron a cabo verificaciones de los aspectos definidos en la tabla de requerimientos y parámetros. Estas verificaciones se realizaron mediante pruebas y se complementaron con la evaluación de una ginecóloga para garantizar su cumplimiento.

**Tabla 17**

#### Verificaciones

	<b>Requerimiento</b>	<b>Test</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Imagen</b>	<b>Resultado de verificación</b>
<b>Funcional</b>	Sistema para insertar diversos cuellos uterinos	Pruebas en laboratorio	Cumple/no cumple		Cumple
<b>Formal estético</b>	Emulación de características visuales	Validación con experto	Cumple/no cumple		Cumple
	Emulación de partes anatómicas	Validación con experto	Cumple/no cumple		Cumple

<b>Versatilidad</b>	Etapas de borramiento	Verificación de los porcentajes de borramiento	0 a 3cm de longitud		Insertos de: 0cm 1,5 3cm
	Etapas de dilatación	Verificación de los cm de dilatación	0 a 10cm de diámetro		Insertos de: 0,2cm 1cm 4cm 5cm 8cm
<b>Material</b>	Resistente a la limpieza con agua, jabón y alcohol	Limpieza con agua y toallas desinfectantes	Cumple/no cumple		Cumple
	<b>Antropométrico</b>	Escala real de la vulva	Verificación de Medida	8cm largo de los labios externos	
Escala real del canal vaginal		Verificación de medida	7 cm longitud		Mide 7cm

Escala real del cuello uterino	Verificación de medida	10 cm de diámetro		Mide 10cm diámetro
--------------------------------	------------------------	-------------------	--	--------------------

#### 4.5.1.1. Resultados de las verificaciones

El modelo cumple con los requerimientos establecidos en la etapa de ideación, sin embargo, hubo varios hallazgos y sugerencias por parte de la ginecóloga que estuvo a cargo de las verificaciones.

- Al momento de manipular los insertos e introducirlos en la base, se evidencia que no hay claridad en la posición en que se deben ubicar correctamente.
- El modelo cumple con la emulación de las características visuales, sin embargo, la ginecóloga sugiere que la entrada de la vulva no sea tan estrecha para que los dedos se puedan abrir con más comodidad
- La experta sugiere que se agreguen 2 tipos de cuellos que se pueden presentar en un trabajo de parto que son: 0,3cm dilatado y 50% borrado, 4cm dilatado y 70% borrado.
- Los componentes elaborados en caucho de silicona se ensucian con gran facilidad, por lo que requiere estar limpiándolo con frecuencia, sin embargo, el modelo no presentó ninguna reacción al momento de limpiarlo con toallas desinfectantes o agua.
- El modelo cumple satisfactoriamente con los grados de emulación de las partes anatómicas.

#### 4.5.2 Validaciones

Se elaboró un protocolo detallado de validación en donde se especifican los factores de entrada, la unidad experimental y las variables respuesta (Tabla 18). Las pruebas fueron aplicadas en las instalaciones del laboratorio de simulación de obstetricia en la Facultad de medicina UIS

durante el mes de septiembre del 2023, donde cada participante de manera individual realiza la prueba y al final de cada tarea el participante respondía el formulario. El procedimiento completo se encuentra detallado en el Apéndice G.

**Tabla 18**

*Diseño del estudio*

<b>Factores de entrada</b>	<b>Unidad experimental</b>	<b>Variable respuesta</b>
Valoración de borramiento y dilatación, los insertos de útero que se evaluarán son: 1. Dilatación 0, Borramiento 0% 2. Dilatación 1cm, Borramiento 50% 3. Dilatación 5cm, Borramiento 100% 4. Dilatación 8cm, Borramiento 100% 5. Dilatación 5cm, Borramiento 70% 6. Dilatación 0, Borramiento 50%	<b>Grupo1: (N: 10)</b> Estudiantes de medicina que no tienen experiencia en tactos vaginales. <b>Grupo 2: (N:10)</b> Estudiantes de medicina que han tenido experiencia en tactos vaginales. <b>Grupo 3: (N:10)</b> Expertos con experiencia en tactos vaginales con pacientes reales. Médicos, residentes y estudiantes de posgrado en ginecobstetricia	<b>Eficiencia:</b> Número de errores <b>Fidelidad anatómica:</b> Escala de Likert de 1-5 (muy en desacuerdo y muy de acuerdo) <b>Facilidad de uso:</b> Escala de Likert de 1-5 (muy fácil y muy difícil) <b>Percepción de utilidad</b> Escala de Likert de 1-5 (muy útil y poco útil)

Se realizó la validación de la eficiencia a través de tres procedimientos de exploración vaginal con el objetivo de identificar posibles errores cometidos por los participantes. Cada inserción tiene un número que corresponde al tipo de dilatación y borramiento observados. Utilizando esta información y los resultados obtenidos en cada procedimiento realizado por los participantes, se determinará si coinciden; en caso contrario, se considerarán como errores.

Paralelamente, se evaluaron la fidelidad anatómica, la facilidad de uso y la percepción de utilidad mediante un cuestionario (Figura 18) que incluyó escalas de Likert con puntuaciones que iban de 1 a 5.

**Figura 18***Cuestionario para validaciones*

Inserto:	Inserto:	Inserto:
Borramiento:	Borramiento:	Borramiento:
Dilatación:	Dilatación:	Dilatación:

¿Qué tan fácil de utilizar es el modelo?

Muy difícil   
 Difícil   
 Neutral   
 Fácil   
 Muy fácil

---

¿Qué percepción de utilidad tiene del modelo para el entrenamiento de tactos vaginales?

Nada útil   
 Poco útil   
 Neutral   
 Útil   
 Muy útil

---

¿Qué nivel de fidelidad considera que tiene el modelo con la realidad?

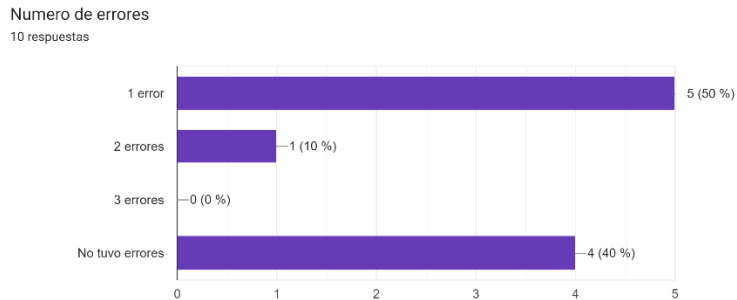
Muy baja   
 Baja   
 Media   
 Alta   
 Muy alta

**4.5.2.1. Resultados de las verificaciones**

El modelo anatómico demuestra su eficacia según los resultados debido a su capacidad para proporcionar una representación precisa y fiable de la anatomía, lo que se refleja en el alto porcentaje de participantes que realizaron los tactos vaginales sin errores (53% del total de participante) y aquellos que cometieron solo uno (36% del total de participantes). Estos resultados demuestran la efectividad del modelo en la enseñanza y la evaluación de esta técnica, ya que la mayoría de los participantes lograron ejecutarla con precisión. Las gráficas 19,20 y 21 describen la cantidad de errores que tuvo cada grupo.

**Figura 19**

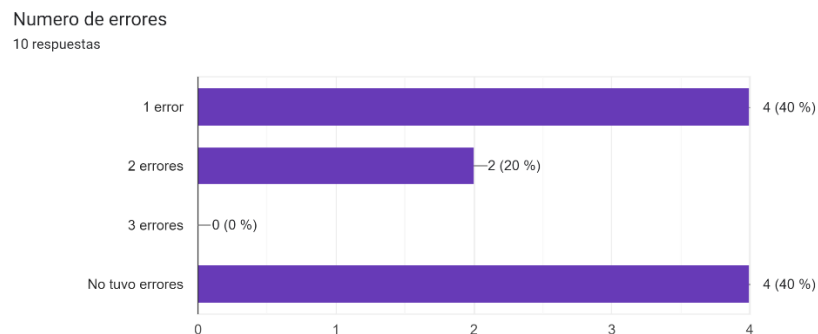
*Número de errores de los estudiantes sin experiencia en tactos vaginales*



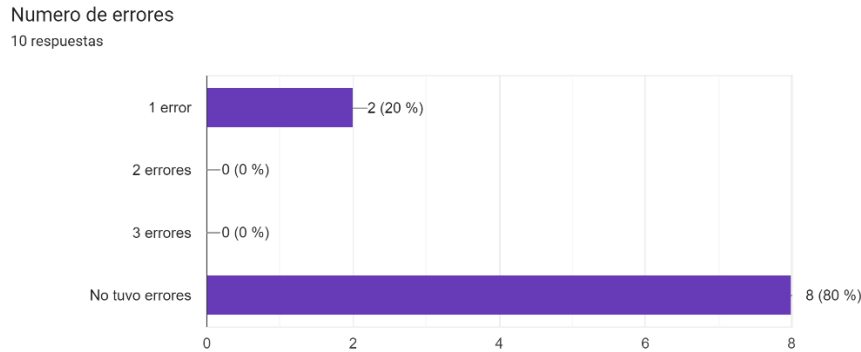
La figura 19 evidencia que la mayor parte de los participantes tuvo un buen desempeño, ya que el 90% no tuvo errores o solamente tuvo un error y tan sólo el 10% tuvo 2 errores. Ningún participante tuvo 3 errores.

**Figura 20**

*Número de errores de los estudiantes con experiencia en tactos vaginales*



Los participantes con experiencia en tactos vaginales evidencian que el 80% no tuvo errores o tuvo solo un error y el 20% tuvo 2 errores. Así mismo, como en el grupo de los participantes sin experiencia, ningún estudiante tuvo un error

**Figura 21***Número de errores de los expertos en tactos vaginales*

Ninguno de los expertos tuvo más de un error y el 100% de los participantes no tuvo errores o solamente tuvo 1 error.

En general, los participantes expresaron que el simulador resultaba ser una herramienta útil o muy útil para enseñar habilidades relacionadas con el borrar y la dilatación (93% del total de participantes). Además, consideraron que el prototipo es de fácil manejo o muy fácil (86% del total de participantes) y evaluaron su fidelidad en un nivel alto o muy alto (70% del total de participantes). Estos resultados respaldan la percepción de utilidad del modelo anatómico en el contexto de la formación en obstetricia y ginecología, dando cumplimiento al objetivo 3 planteado en el proyecto.

Además, durante la realización de las pruebas, los expertos y estudiantes dejaron sus comentarios y sugerencias:

- Es necesario que la entrada de la vulva tenga menos rigidez para que se puedan expandir los dedos fácilmente y sin ningún esfuerzo.
- Se obtuvieron algunas sugerencias respecto a modificar de la rigidez de las estructuras de los cuellos uterinos, ya que este va cambiando a medida que va

progresando el parto, sin embargo, esto no es obstáculo para la enseñanza de valoraciones en borramiento y dilatación.

- El usuario está completamente satisfecho con el grado en el que el modelo permite identificar los grados de dilatación y borramiento.
- Es necesario mejorar la experiencia de uso del modelo anatómico, dando la posibilidad de adaptarlo a los maniqués que se utilizan para obstetricia.
- Mejorar el diseño de la base de tal manera que se optimice el material.
- Incorporar una sección de tela en la parte posterior de la base con el propósito de cubrir el interior del modelo. Esto permitirá ocultar los insertos y reducir la entrada de suciedad.

#### **4.6 Desarrollo del prototipo final**

Durante esta fase, se procede con la incorporación de mejoras en el prototipo final (Figura 22) basados en los resultados obtenidos de las verificaciones y validaciones previas. Estas mejoras se realizan siguiendo los principios de la metodología de Diseño para la Manufactura (DFM). Así mismo, se avanza en la elaboración de los planos detallados de las piezas y los moldes necesarios para la fabricación del prototipo. Para completar esta etapa, se elabora un diagrama de uso que describe cómo interactúan los componentes y usuarios con el prototipo, asegurando así que todas las funcionalidades se integren de manera óptima.

#### **Figura 22**





*Prototipo final*

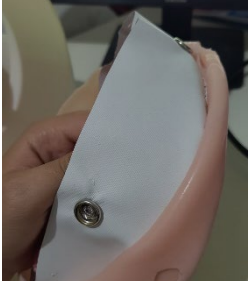


#### ***4.6.1 Mejoras y aplicación de principios del DFM***

Las mejoras implementadas en el prototipo final del modelo se desarrollaron a partir de los resultados de las validaciones y teniendo en cuenta los principios del diseño para la manufactura.

**Tabla 19***Mejoras aplicadas*

Hallazgo	Mejora aplicada	Principio DFM	Imagen
El ingreso de los dedos a través de la vulva es muy estrecho y genera incomodidad al momento de realizar la exploración.	Se rediseñó el molde para el canal vaginal, de manera que el diámetro sea más grande y permita abrir los dedos con más facilidad.	- Diseñar para la fácil fabricación.	
Adaptar el modelo a un maniquí de cuerpo completo para aumentar el nivel de fidelidad de la experiencia.	Se rediseñó el modelo de la vulva y se agregó un sistema de unión con broches a presión para adaptarlo al maniquí.	- Desarrollar un diseño modular. - Diseñar partes multifuncionales. - Utilizar componentes estandarizados.	
Mejorar el diseño de la base para adaptarlo a la vulva y reducir material.	Se modeló una base a partir de las medidas de la vulva y se utilizó manufactura aditiva para su fabricación.	- Optimización de materiales. - Diseño para la durabilidad.	
El modelo debe mantener ocultas las partes internas para mejorar la experiencia de enseñanza y evitar la entrada de suciedad.	Se agregó una sección en tela en la parte posterior del modelo para facilitar la entrada de los insertos y tapar todas las partes internas.	- Rediseñar componentes para eliminar pasos de proceso. - Minimizar las operaciones de manipulación. - Diseñar para el proceso.	

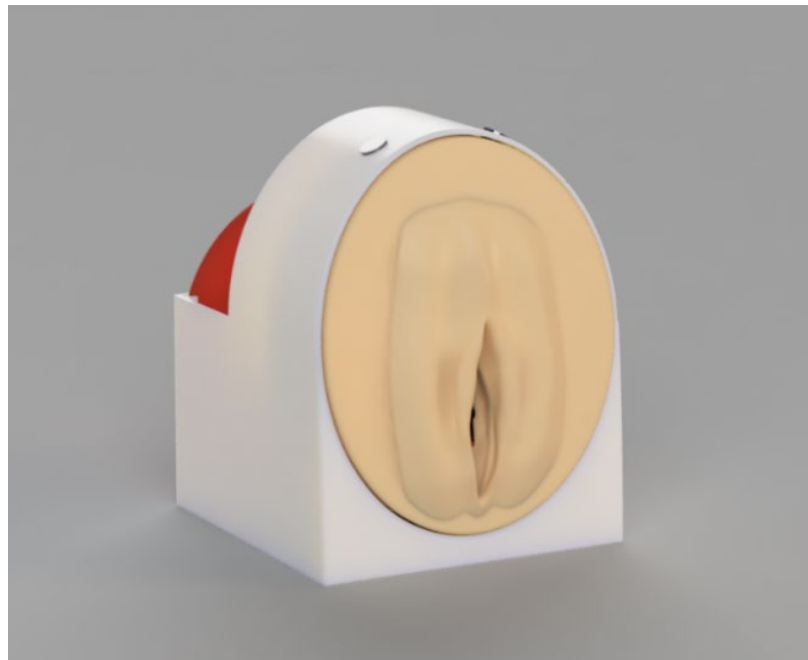
Disminuir el riesgo de rotura del material en silicona de la vulva	Se adaptó una base interna de lona plástica para reforzar el sistema de unión.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Usar materiales y componentes estandarizados.</li> <li>- Diseñar para fácil fabricación.</li> <li>- Diseño para la durabilidad.</li> </ul>	
--	--	---	---

#### 4.6.2 Modelado y planos

Se realizó el modelado utilizando el software fusión 360 (figura 23) teniendo en cuenta las modificaciones anatómicas sugeridas por los usuarios en la validación. Así mismo, se realizaron modificaciones en el diseño de los moldes que producen las piezas. En el apéndice H se encuentra el documento que contiene los planos finales de cada una de las piezas del producto y de los moldes con sus respectivas dimensiones.

#### Figura 23

*Modelado del prototipo final*



#### ***4.6.3 Diagrama de uso***

Se describe la secuencia de pasos que los usuarios, como estudiantes de medicina o profesionales de la salud deben realizar cuando hacen uso del modelo durante la práctica de tactos vaginales, desde la preparación inicial hasta la realización de procedimientos. El diagrama de uso contenido en el Apéndice I explica paso a paso los procedimientos definidos.

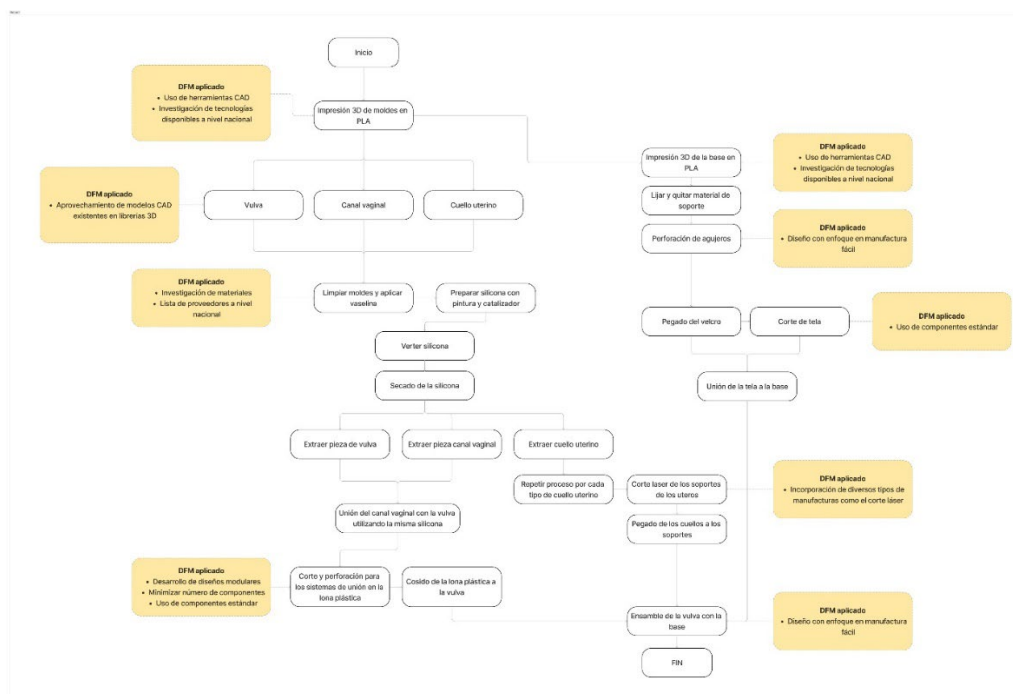
## 5. Resultados

### 5.1 Flujo de procesos

Con el propósito de cumplir con el segundo objetivo específico del proyecto, que se enfoca en definir el proceso de construcción del modelo anatómico, considerando la aplicación de la metodología de Diseño para la Manufactura en todas las etapas del desarrollo del producto, se ha elaborado un flujo de procesos. En la figura 24 se presenta un diagrama del proceso, también se realiza una descripción detallada de cada paso del proceso, así como un cuadro que especifica los materiales necesarios, los tiempos requeridos y las cantidades involucradas en la construcción del modelo anatómico. Este manual representa una herramienta esencial para asegurar la eficiencia y la calidad en la fabricación del modelo, cumpliendo con los estándares de Diseño para la Manufactura. En el apéndice J se encuentra detallado el flujo de procesos. Y en el apéndice K se encuentran las fichas técnicas de los materiales utilizados.

**Figura 24**

### Flujo de procesos



1. Impresión de moldes

Se imprimen en 3D los moldes para:

Molde 1: Vulva

Molde 2: Canal vaginal

Molde 3: Cuello uterino

2. Preparación de los moldes

Se lija cada molde y se quita todo el material de soporte. Se aplica vaselina en el interior y se sellan los moldes del canal vaginal y cuello uterino, cada uno con su respectivo contra molde.

3. Vertimiento de la silicona y secado

Se pesa cada uno de los componentes, se mezcla la pintura y se agrega el catalizador, después se mezcla con un palito y se vierte a cada molde. Dejar cada pieza en el molde durante 5 horas para que solidifique y se pueda desmoldar fácilmente.

4. Unión del canal vaginal con la vulva

Se extrae la pieza en silicona de la vulva y del canal vaginal para unir las utilizando la misma silicona, utilizando 10g de silicona con 5% de catalizador. Aplicar sobre la superficie de unión y dejar secar.

5. Coser la lona plástica a la silicona

Recortar un rectángulo de 50cm x 10cm y coserlo manualmente al modelo de la vulva con hilo de costura. Realizar las perforaciones en la lona para sujetar los broches metálicos.

6. Repetir procedimiento para los cuellos uterinos

Verter la silicona en el molde del cuello uterino teniendo en cuenta el tipo de etapa que se quiere emular.

7. Corte laser de los soportes de los cuellos uterinos

Se realiza el corte laser en poliestireno de las piezas que van a sujetar los cuellos uterinos.

## 8. Unión de los cuellos uterino a los soportes

Se mezclan 10g de silicona con 5% de catalizador por cada inserto de cuello, para ser utilizado como pegante sobre los soportes de poliestireno.

## 9. Impresión 3D de la base

Se imprime en 3D la base exterior del modelo anatómico. Se lija y se quita el material de soporte.

## 10. Perforación del sistema de unión

Se realizan las perforaciones en la base de 3mm de diámetro para agregar los broches metálicos de 1cm de diámetro que sujetan el modelo de la vulva.

## 11. Agregar velcro a la base y sujetar la tela

Cortar 35cm x 20cm de tela, coser velcro a la tela y se unen a la base exterior del modelo.

## 12. Ensamblar todos los componentes

Unir la pieza en silicona de la vulva con la base exterior sujetándolo con los broches metálicos, agregar un inserto de cuello uterino en la parte posterior de la base y tapar el modelo con la tela.

**Tabla 20***Materiales, cantidades y tiempos*

<b>Actividad</b>	<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Tiempo</b>
<b>Impresión de moldes en 3D</b>	PLA	<b>Molde 1:</b> Vulva 130g	Molde 1: 5 horas
		<b>Molde 2:</b> Canal vaginal 145 g	Molde 2: 6 horas
		<b>Molde 3:</b> Cuello uterino 175 g	Molde 3: 10 horas
<b>Vertimiento de silicona</b>	-Caucho de silicona -Pintura -Catalizador -Gramera	<b>Vulva:</b> 150g silicona, 2g de vinilo naranja, 3% catalizador <b>Canal vaginal:</b> 80g silicona, 1 g de vinilo rojo, 3% catalizador <b>Cuello uterino:</b> 100 g silicona, 2g de vinilo rojo, 3% catalizador	Mezcla: 1min Secado: 5 horas por cada componente
<b>Unión del canal vaginal</b>	-Caucho de silicona	10 g de silicona 5% de catalizador	Mezcla: 1min Secado: 1 h

	-Catalizador -Gramera		
<b>Coser la lona plástica</b>	-Lona plástica -Hilo	50cm x 10cm	30 min
<b>Corte laser de los soportes para los cuellos uterinos</b>	-Poliestireno	Lámina de 1m x 1m	10 min
<b>Unión de los cuellos uterinos al soporte</b>	-Caucho de silicona -Catalizador -Gramera	10g de silicona 5% de catalizador	Mezcla: 1min Secado: 1h
<b>Impresión 3D de la base exterior</b>	PLA	164 g	6.4 horas
<b>Perforación del sistema de unión</b>	-Broches metálicos -Mecanismo para sujetar los broches - Mototool	4 broches	15 min
<b>Agregar velcro a la base</b>	-Velcro -Gota mágica	10 cm x 1cm	5 min
<b>Corte de tela</b>	-Tela blanca -Hilo	36cm x 20cm	15min

## 5.2 Estimado de costos

Se llevó a cabo una estimación de costos asociados a los materiales, la ubicación y la mano de obra requeridos para la fabricación de un modelo anatómico destinado a prácticas de tacto vaginal. Como se puede apreciar en la Tabla 21, el costo total de producción asciende a \$377,200 pesos colombianos. Es importante destacar que estos costos de producción se basan en los valores comerciales del mercado y no están relacionados con los recursos de la Universidad Industrial de Santander (UIS).

**Tabla 21***Tabla de estimación de costos para producir un modelo*

<b>Material</b>	<b>Precio</b>	<b>Cantidad adquirida</b>	<b>Cantidad usada</b>	<b>Costo</b>
<b>Caucho de silicona</b>	\$202.000	1.5 kg	0,83 kg	\$66.400
<b>Pintura vinilo</b>	\$7500	0,37 kg	0,10 kg	\$2.200
<b>Envío de materiales</b>	\$10.000			\$10.000
<b>Moldes impresos en 3D</b>	\$150.000	3 moldes	30 usos, 10 por cada molde	\$5.000
<b>Base exterior impresa en 3D</b>	\$80.000	1 base	1 base	\$80.000
<b>Broches metálicos</b>	\$2.000	10 broches	6 broches	\$1.200
<b>Velcro</b>	\$1.500	1 m	10cm	\$150
<b>Tela</b>	\$3000	1m	35cm x 20 cm	\$1.500
<b>Poliestireno</b>	\$12.000	1m	1m x 1m	\$12.000
<b>Arriendo locación</b>	\$1.300.000	100% del espacio	20%	\$16,250
<b>Consumo de luz</b>	\$356,164	Valor mensual 48 horas	48 horas	\$89.000
<b>Operario para fabricación</b>	\$ 1.300.606	Valor mensual 48 horas	3 horas	\$81.000
<b>%Depreciación de maquinaria</b>	\$1.500.000	Valor mensual 120 meses	10%	\$12.500
			<b>Total</b>	<b>\$377,200</b>

Con base a la información recopilada durante el proceso de benchmarking llevado a cabo en las etapas iniciales del proyecto, se observó que los modelos anatómicos utilizados para entrenamientos de borrarriamiento y dilatación tienen un costo significativamente mayor, oscilando entre \$1,695.00 USD y \$80,000.00 USD, excluyendo los costos adicionales asociados con la importación e impuestos, que aumentan aproximadamente un 30% el precio final. Esto significa que la adquisición de estos modelos se vuelve financieramente inviable para la universidad.

Con el desarrollo de este proyecto se evidencia una solución rentable y accesible para la formación médica en el campo de la ginecología. El modelo anatómico creado con tecnología



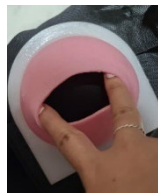
y recursos locales, fue generado un costo mucho más bajo permite a la universidad y sus estudiantes acceder a recursos de enseñanza de alta calidad sin incurrir en gastos que se salen del presupuesto. Esto no solo reduce la barrera financiera para la adquisición de modelos de entrenamiento, sino que también demuestra la capacidad de la universidad para innovar y satisfacer sus propias necesidades de formación médica de manera efectiva y eficiente.

### 5.3 Factores de diseño para la manufactura aplicados

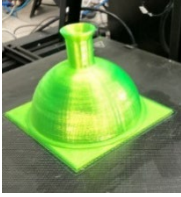

Para dar respuesta a la pregunta de diseño formulada en las etapas iniciales del proyecto, se describen en la tabla 22, los factores de diseño para la manufactura que deben ser considerados en el desarrollo de un producto mínimo viable para simulación clínica (Vélez Sánchez, 2017), orientado para prácticas de tactos vaginales de borramiento y dilatación cervical en gestantes.

**Tabla 22**

*Factores de diseño para la manufactura aplicados*

<b>Factor del DFM</b>	<b>Aplicación</b>	<b>Evidencia</b>	<b>Beneficio</b>
<b>Desarrollo de diseños modulares</b>	Sistema de unión para adaptar la vulva a los maniqués y a la base del modelo		-Simplifica procesos de fabricación -Reduce costos de producción
	Rieles para adaptar los diferentes tipos de cuellos uterinos		
<b>Minimizar el número de componentes</b>	Versatilidad del cuello uterino para emular dilataciones desde los 5cm hasta		-Minimiza tiempos de producción y costos -Aumenta el grado de fidelidad

	los 10cm con un solo inserto		
<b>Uso de componentes estándar</b>	Los sistemas de unión de la vulva funcionan con broches metálicos estándar		-Competitividad de tiempos y costos de los procesos productivos
<b>Uso de componentes estándar</b>	El sistema de unión de la tela funciona con velcro		-Competitividad de tiempos y costos de los procesos productivos
<b>Diseño con enfoque en manufactura fácil</b>	Rediseño de las geometrías de los moldes		-Procesos de producción más eficientes
<b>Uso de herramientas de Diseño Asistido por Computadora CAD</b>	Aprovechamiento de los modelos CAD que se encuentran en librerías 3D Diseño de moldes en CAD		-Acorta los ciclos de desarrollo de productos -Mejora el nivel de fidelidad y acabados finales
<b>Conocer el mercado de los materiales</b>	Investigación de proveedores a nivel nacional		-Conocer un panorama general del mercado para seleccionar la mejor opción
<b>Conocer la disponibilidad y capacidad de las tecnologías</b>	Investigación de tecnologías a nivel nacional y universitario		-Conocer un panorama general de las tecnologías para seleccionar la mejor opción

<b>Incorporación de diversos tipos de manufacturas</b>	Impresión de moldes en PLA		-Mejores acabados -Optimización de tiempos
	Corte laser		

Teniendo en cuenta los diversos procesos de manufactura que se pueden aplicar en el desarrollo de modelos anatómicos, se elaboró una tabla comparando tiempos, materiales y procesos de manufactura para los tejidos blandos.

**Tabla 23**

*Comparación de los diferentes tipos de fabricación para los tejidos blandos*

Proceso	Proceso	Material	Tiempo y cantidad de material	Costo	Total
<b>1. Tejidos blandos impresos en 3D</b>	Impresión de componentes por medio de sinterización selectiva por láser (SLS)	-TPU	-Vulva: 8 h, 61 grs -Canal vaginal: 8h, 68grs -6 insertos de úteros: 24 h, 180grs	-Impresión TPU: \$500.000	<b>Tiempo:</b> 2 días <b>Costo:</b> \$500.000
<b>2. Moldes de los tejidos blandos elaborados en yeso</b>	Componentes impresos en PLA, creación de moldes en yeso y vaciado en caucho de silicona	-PLA -Yeso -Caucho de Silicona	-Vulva PLA: 8 h, 61 grs -Canal vaginal PLA: 8h, 68grs -Útero PLA: 7 h, 52 gr -Moldes en yeso: 5 días, 4 kilos -Vaciado en silicona: 3 días, 0.83kg	-Caucho de silicona: \$66.400 -Yeso: \$20.000 -Impresión en PLA: \$150.000	<b>Tiempo:</b> 10 días <b>Costo:</b> \$236.400
<b>3. Moldes de los tejidos</b>	Moldes impresos en PLA y vaciado	-PLA	-Molde Vulva: 8 h, 61 grs	-Caucho de	<b>Tiempo:</b> 4 días <b>Costo:</b>

<b>blandos impresos en 3D</b>	de caucho de silicona	-Caucho de silicona	-Molde Canal: 8h, 68grs -Molde Útero: 7 h, 52 gr -Vaciado en silicona: 3 días, 0.83kg	silicona: \$66.400 -Impresión en PLA: \$150.000	\$216.400
-------------------------------	-----------------------	---------------------	---	--	-----------

Finalmente se tomó la decisión de aplicar una metodología utilizando moldes impresos en 3D con filamento PLA y realizar el posterior vaciado en caucho de silicona, ya que resultó ser más eficiente en comparación con las otras dos opciones disponibles.

En conclusión, la combinación de manufactura aditiva en PLA y vaciado en caucho de silicona ha demostrado ser una opción eficaz y eficiente en términos de costo y tiempo para la fabricación de modelos anatómicos. Al incorporar una metodología de diseño para la manufactura, se ha logrado maximizar la eficiencia del proceso de producción, lo que ha resultado en un enfoque rentable y rápido para obtener un producto mínimo viable.

## 6. Conclusiones

El modelo desarrollado para la práctica de tactos vaginales en silicona, creado a partir de moldes impresos en 3D, es una herramienta altamente eficaz para la enseñanza simulada en entornos académicos de ginecología y obstetricia. Los resultados de las validaciones realizadas con los participantes fueron positivos en lo que respecta a la eficacia de estos modelos de silicona. Entre los participantes se encontraban estudiantes de medicina, residentes, ginecólogos y docentes. La mayoría de los expertos enfatizaron la importancia de desarrollar modelos asequibles para la enseñanza médica simulada.

Este logro se materializó a través de un proceso basado en los principios del diseño para la manufactura. Como resultado final de este proceso, se desarrolló un modelo para la práctica de tactos vaginales en gestantes con un nivel de madurez tecnológica TRL 5, ya que se validaron todos los componentes en un entorno relevante con estudiantes y expertos. Y se destaca por su bajo costo de producción, diseño modular, portabilidad y nivel de fidelidad anatómica media-alta.

A pesar de que la definición del proceso de manufactura presentada en este documento proporciona una aproximación a los procesos y costos requeridos para la fabricación del modelo, es esencial destacar la posibilidad de mejorar algunos de estos procedimientos de manufactura. Estas mejoras podrían conducir a una producción mucho más industrializada y, al mismo tiempo, aumentarían el valor y la calidad del producto final.

### 6.1 Recomendaciones

Una vez concluido el proyecto de investigación, que ha alcanzado el objetivo de desarrollar un prototipo con una madurez tecnológica TRL 5, se hace entrega de los planos técnicos y los archivos fuente en CAD junto con el flujo de procesos, para la manufactura de un prototipo mínimo

viable que permite la práctica de tactos vaginales. A continuación, se presentan algunas recomendaciones para futuros desarrollos:

**Investigación de Materiales:** Se sugiere llevar a cabo una investigación más amplia sobre materiales alternativos que puedan utilizarse para emular con mayor precisión los tejidos blandos en el modelo. Esto podría mejorar la fidelidad anatómica del prototipo.

**Manufactura de la base exterior:** Se recomienda explorar opciones de fabricación para la base exterior del modelo. La elección de materiales y técnicas adecuadas podría contribuir a la durabilidad y estabilidad del prototipo, así como a su facilidad de uso.

**Difusión y Comercialización:** Se podría considerar la posibilidad de difundir este proyecto a nivel académico y médico, así como explorar opciones para la comercialización del prototipo a otras instituciones educativas y médicas interesadas en mejorar su formación práctica en ginecología y obstetricia.

**Ampliar el rango de la población para pruebas:** Se sugiere llevar a cabo un mayor número de pruebas de validación con una muestra más amplia de participantes. Esto permitirá obtener datos más representativos y significativos, lo que aumentará la confiabilidad de los resultados y la validez de las conclusiones. Además, una mayor diversidad de participantes puede ayudar a identificar posibles variaciones o tendencias que podrían no ser evidentes en una muestra más pequeña, lo que en última instancia fortalecerá la calidad de la investigación y sus implicaciones.

Estas recomendaciones pueden contribuir a perfeccionar aún más el modelo y aumentar su utilidad en la enseñanza y práctica médica.

**Referencias bibliográficas**

- Agudelo, M. (2015). Tendencia de las demandas a especialistas en ginecología y obstetricia. *UNIVERSIDAD CES*.
- Alan R. Williams, R. W. H. W. (2020). How will Education 4.0 influence learning in higher education? *Journal of Learning Development in Higher Education*.
- Barnhart, K. T., Izquierdo, A., Pretorius, E. S., Shera, D. M., Shabbout, M., & Shaunik, A. (2006). Baseline dimensions of the human vagina. *Human Reproduction*, 21(6), 1618–1622. <https://doi.org/10.1093/humrep/del022>
- Corvetto, M., Pía Bravo, M., Montaña, R., Utili, F., Escudero, E., Boza, C., Varas, J., & Dagnino, J. (2013). Simulación en educación médica: una sinopsis. In *artículo de revisión rev Med chile* (Vol. 141).
- Dávila Cervantes, A. (2014). Simulación en Educación Médica. *Investigación En Educación Médica*, 3(10), 100–105. [https://doi.org/10.1016/s2007-5057\(14\)72733-4](https://doi.org/10.1016/s2007-5057(14)72733-4)
- Dillon, S. (2021). Simulation in Obstetrics and Gynecology: A Review of the Past, Present, and Future. In *Obstetrics and Gynecology Clinics of North America* (Vol. 48, Issue 4, pp. 689–703). W.B. Saunders. <https://doi.org/10.1016/j.ogc.2021.07.003>
- Dyre, L., Tabor, A., Ringsted, C., & Tolsgaard, M. G. (2017). Imperfect practice makes perfect: error management training improves transfer of learning. *Medical Education*, 51(2), 196–206. <https://doi.org/10.1111/medu.13208>
- Edwards, T., Boothby, J. E., Sucheralli, L., & Gropelli, T. (2018). Using an Unfolding Simulation With Maternity and Pediatric Nursing Students. *Teaching and Learning in Nursing*, 13(2), 122–124. <https://doi.org/10.1016/j.teln.2017.10.003>
- Ellinas, H., Facp, F. /, Denson, K., & Simpson, D. (2015). Low-Cost Simulation: How-To Guide. *Journal of Graduate Medical Education*. <https://doi.org/10.4300/JGME-D-15-00082.1>

- Figueroa, J., Gonzales, M., Isaza, S., Cañon, A., & Gutierrez, Y. (2019). *Rango promedio de costo de los simuladores y software utilizados en Ciencias Clínicas de la Salud*. Applied Computer Sciences in Engineering. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-31019-6\\_54/tables/5#ref-CR36](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-31019-6_54/tables/5#ref-CR36)
- Forbes, V., Hommen, udo, Thorbek, P., & Heimbach, F. (2009). Ecological Models for Regulatory Risk Assessments of Pesticides. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 5(1).
- G. Vázquez-Mata a, & A. Guillamet-Lloveras b. (2009). *El entrenamiento basado en la simulación como innovación imprescindible en la formación médica*.
- Gamble, A. S. (2017). Simulation in undergraduate paediatric nursing curriculum: Evaluation of a complex 'ward for a day' education program. *Nurse Education in Practice*, 23, 40–47. <https://doi.org/10.1016/J.NEPR.2017.02.001>
- Gardner, R., & Raemer, D. B. (2008). Simulation in Obstetrics and Gynecology. In *Obstetrics and Gynecology Clinics of North America* (Vol. 35, Issue 1, pp. 97–127). <https://doi.org/10.1016/j.ogc.2007.12.008>
- Gavin, N. R., & Satin, A. J. (2017). *Simulation Training in Obstetrics*. [www.clinicalobgyn.com](http://www.clinicalobgyn.com)
- Gomar, C., & Palés, J. (2011). ¿Por qué la simulación en la docencia de las ciencias de salud sigue estando infrautilizada? *Eduació Médica*.
- Goudie, C., Shanahan, J., Gill, A., Murphy, D., & Dubrowski, A. (2018). Investigating the Efficacy of Anatomical Silicone Models Developed from a 3D Printed Mold for Perineal Repair Suturing Simulation. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.3181>

- Healthwis. (2022, February 23). *Borramiento y dilatación del cuello uterino*.  
<https://www.cigna.com/es-us/individuals-families/health-wellness/hw/temas-de-salud/borramiento-y-dilatacin-del-cuello-uterino-zx3441>
- Kiesel, M., Beyers, I., Kalisz, A., Joukhadar, R., Wöckel, A., Herbert, S.-L., Curtaz, C., & Wulff, C. (2022). A 3D printed model of the female pelvis for practical education of gynecological pelvic examination. *3D Printing in Medicine*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s41205-022-00139-7>
- Kiesel, M., Beyers, I., Kalisz, A., Wöckel, A., Quenzer, A., Schläiß, T., Wulff, C., & Diessner, J. (2022). Evaluating the value of a 3D printed model for hands-on training of gynecological pelvic examination. *3D Printing in Medicine*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/s41205-022-00149-5>
- Kim, M., & Shin, M. (2013). Development and evaluation of simulation-based training for obstetrical nursing using human patient simulators. *CIN - Computers Informatics Nursing*, 31(2), 76–84. <https://doi.org/10.1097/NXN.0b013e3182701041>
- Klahn, C., Bühner, K., Engeli, R., & Meboldt, M. (2020). Design Automation and Additive Manufacturing for Anatomically Diversified Medical Simulators. *Procedia CIRP*, 91, 458–463. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.02.199>
- Knobel, R., Menezes, M. de O., Santos, D. de S., & Takemoto, M. L. S. (2020). Planning, construction and use of handmade simulators to enhance the teaching and learning in obstetrics. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, 28, 1–10. <https://doi.org/10.1590/1518-8345.3684.3302>
- Kolkman, D. G. E., Verhoeven, C. J. M., Brinkhorst, S. J., Van Der Post, J. A. M., Pajkrt, E., Opmeer, B. C., & Mol, B. J. (2013). The bishop score as a predictor of labor induction

- success: A systematic review. In *American Journal of Perinatology* (Vol. 30, Issue 8, pp. 625–630). <https://doi.org/10.1055/s-0032-1331024>
- Landa, B. (2022). Efectividad del simulador educativo de parto para el aprendizaje en los estudiantes de obstetricia de una Universidad. *Revista Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*.
- Liao, J. B., Buhimschi, C. S., & Norwitz, E. R. (2005). Normal labor: Mechanism and duration. In *Obstetrics and Gynecology Clinics of North America* (Vol. 32, Issue 2, pp. 145–164). W.B. Saunders. <https://doi.org/10.1016/j.ogc.2005.01.001>
- Lim, S. S., Updike, R. L., Kaldjian, A. S., Barber, R. M., Cowling, K., York, H., Friedman, J., Xu, R., Whisnant, J. L., Taylor, H. J., Leever, A. T., Roman, Y., Bryant, M. F., Dieleman, J., Gakidou, E., & Murray, C. J. L. (2018). Measuring human capital: a systematic analysis of 195 countries and territories, 1990–2016. *The Lancet*, 392(10154), 1217–1234. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31941-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31941-X)
- Lin, W., & Song, Y. (2018). Effectiveness of different numbers of simulation training models on medical students' cervical examination performance. *International Journal of Gynecology and Obstetrics*, 141(2), 255–260. <https://doi.org/10.1002/ijgo.12404>
- Lukanović, D., & Laganà, A. S. (2022). The impact of Covid-19 on simulation-based learning of gynecology and obstetrics skills. In *Minimally Invasive Therapy and Allied Technologies* (Vol. 31, Issue 5, pp. 684–689). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/13645706.2021.1987923>
- Maran, N. J., & Glavin, R. J. (2003). *Low-to high-fidelity simulation-a continuum of medical education?*

- Marcela Sánchez, C. R., & Carlos Julio Cortés, I. R. (2005). Concepts of design for manufacturing (DFM) of lost wax parts. *REVISTA INGENIERIA E INVESTIGACIÓN*, 25. [www.kp.dlr.de/](http://www.kp.dlr.de/)
- Mejía Sandoval, A., & Riaño Sánchez, L. C. (2021). *Modelo de articulación de rodilla para simulación y entrenamiento de procedimientos artroscópicos*. Universidad Industrial de Santander.
- Meseguer, B., López Pay, C., & Dolores Martínez Román, M. (2012). Procedimientos la exploración vaginal durante la asistencia al parto vaginal. *Revista Científica de Enfermería*.
- Mutter, M. K., Martindale, J. R., Shah, N., Gusic, M. E., & Wolf, S. J. (2020). Case-Based Teaching: Does the Addition of High-Fidelity Simulation Make a Difference in Medical Students' Clinical Reasoning Skills? *Medical Science Educator*, 30(1), 307–313. <https://doi.org/10.1007/s40670-019-00904-0>
- Nitsche, J. F., Shumard, K. M., Fino, N. F., Denney, J. M., Quinn, K. H., Bailey, J. C., Jijon, R., Huang, C., Kesty, K., Whitecar, P. W., Grandis, A. S., & Brost, B. C. (2015). Effectiveness of labor cervical examination simulation in medical student education. *Obstetrics and Gynecology*, 126(4), 13S-20S. <https://doi.org/10.1097/AOG.0000000000001027>
- Palés Argullós Carmen Gomar Sancho, J. L. (2010). SIMULATION IN MEDICAL EDUCATION. In *TESI* (Vol. 11, Issue 2).
- Ruíz Parra, A. I., Ángel Muller, E., & Guevara, O. (2009). Clinical simulation and virtual learning. Complementary technologies for medical education. *Revista de La Facultad de Medicina*, 57, 67–79.
- Sawaya, R. D., Mrad, S., Rajha, E., Saleh, R., & Rice, J. (2021). Simulation-based curriculum development: lessons learnt in Global Health education. *BMC Medical Education*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s12909-020-02430-9>

- Scholz, C., Mann, C., Kopp, V., Kost, B., Kainer, F., & Fischer, M. R. (2012). High-fidelity simulation increases obstetric self-assurance and skills in undergraduate medical students. *Journal of Perinatal Medicine*, *40*(6), 607–613. <https://doi.org/10.1515/jpm-2012-0052>
- Serna Corredor, D. S., & Martínez Sánchez, L. M. (2018). La simulación en la educación médica, una alternativa para facilitar el aprendizaje. *Archivos de Medicina (Manizales)*, *18*(2), 447–454. <https://doi.org/10.30554/archmed.18.2.2624.2018>
- Shea, K. L., & Rovera, E. J. (2015). Vaginal Examination Simulation Using Citrus Fruit to Simulate Cervical Dilation and Effacement. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.314>
- Smithburger, P. L., Kane-Gill, S. L., Ruby, C. M., & Seybert, A. L. (2012). Comparing effectiveness of 3 learning strategies: Simulation-based learning, problem-based learning, and standardized patients. *Simulation in Healthcare*, *7*(3), 141–146. <https://doi.org/10.1097/SIH.0b013e31823ee24d>
- Storbacka, O. (2018). *Rapid prototyping: Creating a minimum viable product using a single-board microcontroller*.
- Thomas, L. (2019). Average Labia and Clitoral Length. *News Medical Life Licenses*. <https://doi.org/10.1111/j.1471-0528.2004.00517.x/full>
- Ulrich, K. T., & Eppinger, S. D. (2016). *Product Design and Development; Sixth Edition*. (6th ed.). [www.mhhe.com](http://www.mhhe.com)
- Vélez Sánchez, O. (2017). Evolución y desarrollo estratégico organizacional del Diseño para la manufactura y montaje (DFMA): Una revisión. In *Cuaderno Activa N°9*.
- Wang, S., Ren, X., Ye, J., Wang, W., Huang, H., & Qin, C. (2021). *Exploration of simulation-based medical education for undergraduate students*. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000025982>

- Yasli, M., Dabbagh, S. R., Tasoglu, S., & Aydin, S. (2023). Additive manufacturing and three-dimensional printing in obstetrics and gynecology: a comprehensive review. In *Archives of Gynecology and Obstetrics*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s00404-023-06912-1>
- Ziv, A., Root Wolpe, P., Small, S. D., & Glick, S. (2003). Simulation-Based Medical Education: An Ethical Imperative. *ACADEMIC MEDICINE*, 78.