INTERACCION
Revista Digital de AIPO
Asociación Interacción Persona-Ordenador
Vol. 3, No 2 (2022)
ISSN 2695-6578

Desarrollo y evaluación de un simulador de RV para la valoración obstétrica de cérvix y fontanelas

Development and evaluation of a VR simulator for the obstetric assessment of cervix and fontanelles

Carolina Ordoño López
Instituto de Investigación en Informática de Albacete (I3A)
Univ. de Castilla-La Mancha
Albacete, España
carolina.valverde@hotmail.es

José Pascual Molina Massó
Instituto de Investigación en Informática de Albacete (I3A)
Univ. de Castilla-La Mancha
Albacete, España
josepascual.molina@uclm.com

Ana Belén García Bravo
Servicio de Salud de Castilla-La Mancha (SESCAM)
Albacete, España
abgarciab@sescam.jccm.es

Recibido: 12.10.2022 | Aceptado: 03.12.2022
DOI: https://doi.org/10.65234/interaccion.78

Palabras Clave

Realidad Virtual
Tacto
Háptico
Simulador
Obstetricia

Resumen

Este trabajo describe el desarrollo y evaluación de un simulador de Realidad Virtual para el entrenamiento de la técnica de exploración en el campo de la Obstetricia. El simulador se ha basado en un dispositivo háptico Novint Falcon que permite al usuario sentir la fuerza que produce tocar un objeto virtual. En concreto, este trabajo se ha centrado en la exploración que realizan las matronas para localizar las fontanelas en la cabeza del feto y así averiguar su orientación, clave para conocer la presentación del feto y adelantarse a posibles complicaciones. Así, permite entrenarse en todos los modos y orientaciones de las presentaciones cefálicas, y tiene un modo aleatorio que facilita el uso sin supervisión a modo de autoevaluación. Este desarrollo se ha llevado a cabo usando la metodología TRES-D, que parte de características de otras metodologías para el desarrollo de interfaces tradicionales y añade aquellos aspectos necesarios para la creación de interfaces como las de Realidad Virtual. En el desarrollo se ha contado con la colaboración de una matrona para validar cada avance, y tras el mismo ha sido evaluado por otras cuatro matronas que han corroborado la fidelidad del simulador y constatado su potencial.

Keywords

Virtual Reality
Touch
Haptics
Simulator
Obstetrics

Abstract

This paper describes the development and evaluation of a Virtual Reality simulator for the training of the examination technique in the field of Obstetrics. The simulator is based on a Novint Falcon haptic device that allows the user to feel the force produced by touching a virtual object. Specifically, this work has focused on the digital vaginal examination carried out by midwives to look for the fontanelles in the foetal head and thus find out its orientation, which is key to know the presentation of the foetus and anticipate possible complications. Thus, the simulator allows training cephalic presentations in all its modes and orientations and, as an additional feature, it has a random mode that facilitates its use by a student without supervision as a self-assessment. This development has been carried out using the TRES-D methodology, which is based on the characteristics of other methodologies for the development of traditional interfaces and adds those aspects necessary for the creation of interfaces such as VR ones. A midwife was involved in the development process to validate each progress, and after that it was evaluated by another four midwives that have checked its fidelity and assessed its potential.

1. Introducción

En las horas previas a un parto, la matrona comprueba con sus propios dedos el estado del cuello del útero de la madre y la presentación del bebé, para saber cuándo la mujer estará lista para dar a luz y si el parto será eutócico (que no requiere instrumentación) o instrumental. El bebé sólo podrá salir si expone su menor diámetro craneal al paso por los huesos de la pelvis materna, por lo que cualquier otra presentación puede hacer necesaria la ayuda de instrumentos -un parto

instrumental- o incluso cirugía -una cesárea-. La exploración que realiza la matrona resulta, por tanto, de gran valor para dirigir el parto hacia un buen final. Por esa razón, es de gran importancia que en su etapa de formación aprendan de forma adecuada a ejecutar la técnica de exploración y a reconocer lo que sus dedos están tocando.

El problema de formar a las futuras matronas en esta técnica es que la zona a explorar no está a la vista, por lo que el aprendizaje se basa tradicionalmente en un conocimiento teórico de la anatomía de la mujer y del bebé, en el entrenamiento con modelos físicos que reproducen dicha anatomía (véase Fig. 1), y finalmente en la práctica real con embarazadas que se encuentran en trabajo de parto. Este enfoque tradicional tiene sus limitaciones, y es que los entrenadores físicos ofrecen la posibilidad de cambiar piezas para preparar sólo un número discreto de situaciones, y las mujeres embarazadas pueden verse incomodadas por las exploraciones que las estudiantes hagan en una zona tan íntima para ellas.



Figura 1: Entrenador usado en la Unidad Docente de Matronas del Complejo Hospitalario Universitario de Albacete.

La Realidad Virtual puede ayudar a formar las matronas en esta técnica concreta, como ya se hace en muchos otros ámbitos de aplicación, por ejemplo en la formación de pilotos con simuladores de vuelo, y en particular en el campo de salud, como en el entrenamiento de médicos en operaciones quirúrgicas, mejorando su habilidad y do-minio. El uso de un entrenador de Realidad Virtual para el entrenamiento de matronas en la técnica de palpación tendría dos grandes ventajas. La primera es que permitiría multiplicar el número de situaciones que puede encontrar la matrona con respecto a los entrenadores físicos, que vienen limitados por el número de piezas distintas que traen y las posiciones en las que éstas se pueden colocar. La segunda es que no sólo podría complementar, sino que podría llegar a desplazar parte del entrenamiento con pacientes reales, como en fases tempranas del aprendizaje donde hay más dudas y repeticiones, mitigando así las molestias que ocasionan a las embarazadas en momentos tan trascendentales. Aparte, el empleo de un ordenador permitiría un mejor seguimiento del entrenamiento de la matrona, podría programarse un plan de formación para cada una, individualizado, registrando los casos que ha practicado, cuándo y cuántas veces, y a partir del análisis de actividad se podrían sugerir nuevos casos o la repetición de otros según el tiempo transcurrido o la frecuencia. Todo contribuiría a mejorar considerablemente la curva de aprendizaje de las estudiantes.

El presente trabajo aborda entonces el desarrollo de un simulador háptico de Realidad Virtual en el que las futuras matronas puedan practicar, de la forma más realista posible, la técnica de exploración vaginal tantas veces como sea necesario sin incomodar a ninguna mujer embarazada. Este artículo está estructurado de la siguiente forma: tras esta introducción, se realiza un breve repaso de la tecnología de retorno táctil (háptica) seguida de un análisis de otros trabajos previos relacionados con la propuesta que aquí se presenta (apartados 2 y 3); después, ya en el apartado 4, se explica con más detalle la técnica de palpación de las fontanelas, para dar paso en el apartado 5 a la descripción del desarrollo del simulador con la metodología TRES-D; el apartado 6 ilustra su uso, y en el 7 se aborda su evaluación; finalmente, en el apartado 8 se exponen las limitaciones y retos que aún conlleva crear un simulador así, para finalmente terminar el artículo con un apartado dedicado a las conclusiones y los trabajos futuros que se plantean a partir de este.

2. Dispositivos hápticos

La Realidad Virtual, como campo, reúne un conjunto de tecnologías y técnicas con las que se pueden simular desde simples objetos a entornos más complejos que el usuario puede sentir a través del engaño de sus sentidos, puede ver, oír y tocar, sumergirse e interaccionar. La imagen que suele venir a la memoria al hablar sobre Realidad Virtual es la de un usuario con un visiocasco (*Head Mounted Display* o HMD) en la cabeza y unos guantes de datos o unos mandos de control en las manos. El caso que nos preocupa se aleja de ese estereotipo, pues las matronas no ven en el mundo real lo que están palpando y no necesitarían, por tanto, ningún visiocasco. En esta ocasión, el único sentido a engañar es el tacto, a través del uso de los llamados dispositivos hápticos.

El sentido del tacto, frente a otros sentidos como la vista o el oído, es mucho más complejo y difícil de engañar, pues es la suma de muchos y variados receptores repartidos por todo nuestro cuerpo, aunque es en las manos y más en las yemas de los dedos donde más atención se presta, por la importancia que tiene para el ser humano poder alcanzar con la mano los objetos y sentir lo que toca. Como decía (Russell, 2009) "...es el tacto lo que nos proporciona el sentido de 'realidad'... toda nuestra concepción de lo que existe fuera está basado en el sentido del tacto". La tecnología háptica es aquella que ofrece

una estimulación al sentido del tacto del usuario mediante sensores táctiles, donde es más importante la distribución espacial que la fuerza, y el retorno de fuerza o cinestésico, que interviene cuando la mano coge un objeto o se hace presión sobre él para percibir su dureza.

Uno de los dispositivos hápticos más conocidos y usados en el ámbito de la simulación en ciencias de la salud es el Phantom, desarrollado por la compañía Sensable y comercializado actualmente por 3D Systems (3DSystems, 2022). El nombre de Phantom hace, en realidad, referencia a una familia de dispositivos de retorno de fuerza (*force-feedback*) basados en un brazo robot que también ofrece cierta respuesta táctil, con diferentes fuerzas máximas y volúmenes de trabajo. La Fig. 2 muestra uno de los modelos de esta familia, en concreto un Phantom Premium.



Figura 2: Dispositivo háptico Phantom Premium.

3. Trabajos relacionados

El examen por tacto (palpación) es una herramienta muy usada por los profesionales sanitarios (enfermeras, matronas y médicos) que consiste en presionar con los dedos un área de interés para localizar y/o analizar algo bajo la piel del paciente, o para sentir la presencia o ausencia de características o alteraciones anatómicas y/o fisiológicas. Existen diferentes técnicas de palpación, que pueden ser usadas para diagnóstico del paciente o para guiar otra operación, y pueden requerir un único dedo (*single finger*) o varios (*multi-finger*). Por ejemplo, el examen con el dedo índice se usa para el diagnóstico de alteraciones en tumores de próstata, y se usan varios dedos para diagnosticar problemas en el abdomen, pecho, cuello, colon, espalda, rodilla o pierna. El examen con varios dedos manipulando simultáneamente es todo un reto a la hora de implementarlo en un simulador médico, por lo que es usualmente ignorado y, cuando se incluye, se hace simplificando enormemente la manipulación (Coles et al., 2011a).

Muchos de los simuladores virtuales de tacto y palpación que pueden encontrarse en la literatura hacen uso de los más tradicionales dispositivos hápticos basados en motores eléctricos, como la familia de dispositivos Phantom. Uno de los primeros ejemplos de este tipo de simuladores virtuales es un simulador de exploración de rodilla que se basaba, sin embargo, en un guante Rutgers Master con realimentación de fuerza (Langrana et al., 1994). Existen muchos más ejemplos como los que recopilan (Coles et al., 2011a) (Ribeiro et al., 2017) y (Talhan y Jeon, 2017) en sus respectivas revisiones de simuladores hápticos en el campo de la medicina, y en particular para las técnicas de tacto y palpación. Aquí se repasarán aquellos más relacionados con la técnica de examen obstétrico que es objeto de este trabajo.

(Burdea et al., 1999) presenta un simulador de Realidad Virtual dirigido al entrenamiento en diagnóstico de cáncer de próstata. El prototipo está compuesto por una interfaz háptica Phantom que proporciona realimentación al dedo del usuario, una estructura que restringe los movimientos y una estación de trabajo SGI para renderizar la anatomía del paciente. Para el estudio, se desarrollaron varios modelos distintos de próstatas para varios casos particulares. Para el proyecto contaron con la colaboración de un urólogo que determinó el nivel de dureza cuando se producía un contacto para conseguir que los modelos fueran más “reales”. El estudio confirmó que los estudiantes se encontraban más cómodos utilizando este simulador ya que realizaban su diagnóstico sobre un modelo virtual sin las molestias que supone para un paciente real. Otra de las conclusiones que obtuvieron es que, a causa de la tecnología de ese momento, el dispositivo permitía la interacción con los modelos con un solo punto de contacto, mientras que la punta del dedo es un área con múltiples puntos de contacto.

En el campo de la medicina veterinaria, el simulador HOPS (Horse Ovary Palpation Simulator) (Crossan y Brewster, 2001) (Crossan et al., 2002), desarrollado en la Universidad de Glasgow, permite palpar virtualmente los ovarios de una yegua usando también un dispositivo Phantom. En la senda del trabajo anterior, el mismo grupo de Glasgow desarrolló un simulador para el examen rectal en vacas (*bovine rectal palpation*), usando un Phantom Premium 1.5 con un dedal (*thimble*) dentro de un modelo de fibra de vidrio de una vaca (Virtalis, 2022). Este examen rectal se usa para el diagnóstico de embarazo y examen de fertilidad, y forma parte de la rutina de trabajo de los veterinarios con estos animales. Con el objeto de proporcionar un complemento a los métodos de enseñanza tradicionales, en (Baillie et al., 2003) (Baillie et al., 2005a) (Baillie et al., 2005b) se presentan las primeras evaluaciones con este sistema, donde el simulador demuestra su capacidad para destreza la habilidad de los estudiantes de veterinaria con esta técnica, y también como guía para mejorar esa habilidad. En (Baillie et al., 2010) se describe la evolución del anterior trabajo, proporcionando ayudas adicionales a los estudiantes como la corrección de sus movimientos y estímulos sonoros, haciendo innecesaria la presencia del instructor durante el entrenamiento.

SIMone (Obst et al., 2004) es un simulador que recrea situaciones complicadas de parto donde pueda ser requerida la utilización de instrumental, como el fórceps, instrumento con el que se apresa a la cabeza del feto y se tira de él para ayudar al parto. En este caso, el estudiante usa instrumental real y opera sobre un modelo de silicona que reproduce la anatomía de la madre y la cabeza del bebé. Es esta cabeza la que está conectada a un dispositivo háptico, que el sistema utiliza tanto para recoger e interpretar datos como para generar la respuesta de fuerza y el avance del bebé ante la operación del estudiante. Se trata de un producto comercial, totalmente desarrollado, que en el momento de escribir estas líneas está a la venta por unos 43 mil euros.

(Machado y Moraes, 2006) (Moraes et al., 2006) presentan el simulador SITEG, un sistema basado en Realidad Virtual para ayudar en el aprendizaje de patologías que, como el Herpes y el papiloma humano (HPV), son las más comúnmente relacionadas con el desarrollo de células cancerosas. El sistema permite simular el examen ginecológico en sus dos fases, una visual en la que se usa un espéculo para observar el color y la textura en vagina y cérvix, y otra en la que se usa el tacto de un dedo como instrumento para examinar y buscar consistencias que delaten la presencia de las citadas patologías. Para el examen visual, los autores recurren a imágenes estereoscópicas, y para la exploración con un dedo recurren al dispositivo háptico Phantom Omni, el más pequeño de la familia Phantom.

La principal diferencia de este último trabajo y el nuestro se encuentra, precisamente, en que el objeto del éste no es el examen ginecológico sino el obstétrico, centrándonos especialmente en el cuello del útero de la madre y las fontanelas del cráneo del feto, palpando no sólo la dureza de un único elemento como es la pared vaginal sino distintos elementos con durezas variadas y, además, tratando de identificar formas y tamaños.

En (Oliver at al., 2022) detallamos nuestro primer trabajo en el que abordamos la construcción de un simulador obstétrico como el que aquí se presenta, solo que entonces se hizo con un dispositivo Phantom Premium (mostrado en la Fig. 2) y su software OpenHaptics. Precisamente, en ese otro trabajo encontramos respuestas inesperadas e indeseadas del dispositivo allá donde confluían superficies de distinta dureza, a lo que se pudo dar una solución pero aún se podría mejorar. Más allá de las dificultades técnicas que se dan, el alto coste de este dispositivo y de otros modelos de la familia, desde miles de euros de los más sencillos a decenas de miles de euros de los más complejos, podría dificultar su adopción en las Unidades Docentes de Matronas. Por esta razón, en el presente trabajo se retoma la idea con un dispositivo mucho más económico, el Novint Falcon, con un precio de US$499 en el momento de escribir estas líneas, y que se detallará más adelante.

Hasta donde sabemos, no hay más trabajos en la literatura que aborden ideas similares a la aplicación que aquí se ha desarrollado. En la revisión bibliográfica recogida en (Ribeiro et al., 2017), no se encuentran referencias adicionales a las ya mencionadas, y posterior a ese año tampoco las hemos encontrado nosotros. Más adelante, en la sección “Limitaciones y trabajos futuros”, se retomará esa misma revisión para hablar de otro reto al que nos enfrentamos en el desarrollo de este entrenador, que es la interacción háptica con más de un punto de contacto, y se comentarán otros trabajos en ese sentido.

4. Palpación de fontanelas en la exploración obstétrica

La exploración a través del tacto que realizan las matronas persigue, por un lado, determinar la fase de parto en la que se encuentra la gestante a través de cinco signos: el estado del cuello uterino o cérvix (borramiento, dilatación y consistencia), posición del propio cérvix y plano de Hodge (grado de encajamiento del feto en el canal del parto) (González Merlo, 2006). Por otro lado, si el estado del cuello uterino permite llegar hasta el feto, las matronas usan de nuevo el tacto para intentar localizar las fontanelas de la cabeza del feto con el fin de determinar la presentación de éste y así adelantarse a las posibles complicaciones del parto. El presente trabajo se centra principalmente en dar solución a esta última tarea, ya que puede realizarse utilizando únicamente un dedo. En los siguientes párrafos se dan los detalles necesarios para su mejor compresión.

La bóveda craneal está compuesta por: 2 huesos frontales, 2 parietales, el occipital, los temporales y las alas del esfenoides. En el feto, estos huesos no están aún soldados entre sí sino que permanecen unidos por membranas denominadas suturas; y en los lugares donde confluyen las suturas existen unos espacios irregulares, cerrados también por una membrana, denominadas fontanelas (véase Fig. 3). Destacamos dos de estas fontanelas:

- Fontanela mayor, romboidal. Está situada en la parte anterior del cráneo. Se halla en la unión de la sutura sagital y las suturas coronarias, entre cuatro huesos, lo que le da esa forma romboidal. Recibe también otras denominaciones: sincipucio o bregmática.
- Fontanela menor, triangular. Está situada en la parte posterior del cráneo. Se halla en la unión de la sutura sagital y las suturas lamboideas, entre tres huesos, lo que le da esa forma triangular. Recibe también distintas denominaciones: occipucio, vértice o lamboidea.

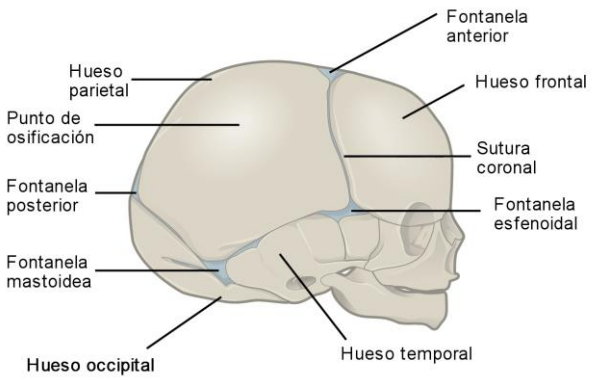


Figura 3: Fontanelas anterior (mayor, romboidal) y posterior (menor, triangular) en el cráneo de un recién nacido (Fuente: Creative Commons, autor: OpenStax College).

Las suturas y fontanelas son puntos de referencia anatómicos que permiten orientar por el tacto sobre la convexidad lisa del cráneo y reconocer la posición fetal en relación con la pelvis (Fig. 4). Para localizar las fontanelas mayor y menor, la matrona usa normalmente un dedo en la exploración, palpando la bóveda y guiándose por las suturas si las encuentra. Si llega a palpar una de las fontanelas, la matrona usará entonces la sutura que comunica con la otra, la sutura sagital, como guía o camino para intentar llegar a esa otra. En otros casos, la matrona podría encontrar que el bebé está asomando la cara y tocarle un ojo o la nariz, por ejemplo.



Figura 4: Palpando las fontanelas.

Conocer qué diámetro de la cabeza es el que el feto enfrenta al canal expulsivo, así como la orientación de la propia cabeza, resulta de gran importancia para el éxito del parto, que continúe como un parto eutócico, que sea necesario recurrir a ayudas y sea un parto instrumental, o incluso que requiera una intervención quirúrgica (cesárea). Así, una presentación de cara resulta muy complicada para que la madre de a luz a su bebé de forma eutócica, y para cualquier presentación que requiera el uso de instrumental (fórceps, ventosa) el ginecólogo necesita saber la orientación del feto para poder agarrar su cabeza por donde no le pueda lesionar.

Cuando el feto tiene la cabeza bien flexionada, con el mentón en pecho, el diámetro que presenta de adaptación a la pelvis es el menor, llamado diámetro suboccipitobregmático (rodea la coronilla pasando por la fontanela mayor o bregmática), que mide 9,5 cm. En esta presentación, la matrona debería encontrar al palpar la fontanela menor (posterior, triangular). Si se localizase la fontanela mayor, el diámetro que se presentaría en relación a la pelvis materna sería el occipitofrontal (12 cm), mostrando la cabeza ligera deflexión. Sin embargo, el mayor diámetro es el occipitomentoniano (pasa por la coronilla y el mentón), que mide 13,5 cm; aquí la matrona palparía parte de la fontanela mayor (anterior o romboidal), ubicándose el punto guía en la sutura metópica. Esta situación es la de peor pronóstico, siendo imposible el parto por vía vaginal a no ser que la presentación evolucione a una presentación de cara (punto guía en el mentón).

En cuanto a la orientación, dentro de la presentación cefálica se distingue entre orientación a izquierda y orientación a derecha, según el feto se encuentre orientado hacia su izquierda o hacia su derecha, que al ser una presentación cefálica coincidiría con la izquierda o la derecha de la matrona que asiste el parto, no la de la madre. También se distingue entre presentación posterior (con la cara mirando hacia arriba), transversa (hacia un lado) y anterior (hacia abajo); esta última orientación se prefiere a las demás pues facilita el parto, con las otras se intentaría que el feto rotara a anterior para que la cara terminara mirando también hacia abajo (véase Fig. 5).

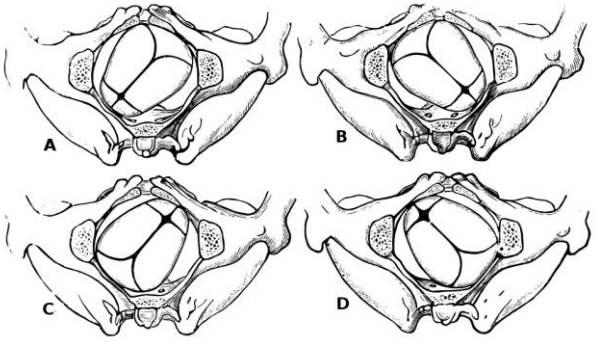


Figura 5: Diferentes orientaciones de la cabeza del feto (Fuente: Creative Commons, autor: no se proporciona).

En la Fig. 6 se reproduce la parte del formulario (partograma) que usan las matronas del Complejo Hospitalario Universitario de Albacete donde se recoge la orientación de la cabeza del feto en una presentación cefálica, con un cuadro para las presentaciones a izquierdas y otro para las derechas.

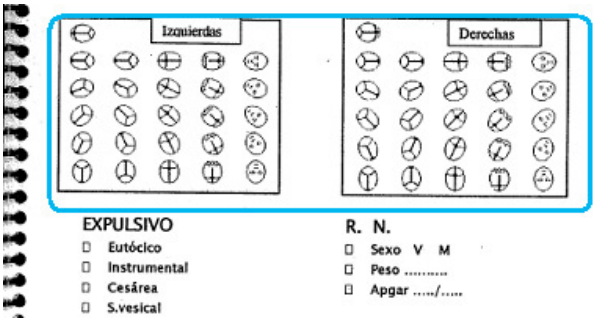


Figura 6: Orientaciones a izquierdas y derechas en un partograma.

5. Método y desarrollo

Para el desarrollo de este trabajo se ha seguido la metodología TRES-D, propuesta en (Molina, 2008), ya que es una metodología que está dirigida a la creación de interfaces tridimensionales, como lo es el simulador que aquí se presenta. La metodología TRES-D parte de características de otras metodologías para el desarrollo de interfaces tradicionales y añade aquellos aspectos necesarios para la creación de interfaces como las de Realidad Virtual. Además, la hemos usado anteriormente con éxito en el desarrollo de otras aplicaciones de Realidad Virtual (Molina at al., 2006).

La metodología, como se observa en la Fig. 7, propone fases previas al diseño que tienen por fin identificar los requisitos que debe cumplir la interfaz, además de presentar el problema y realizar un análisis del mismo. Se puede observar que cuando se introduce en el diseño, se producen dos líneas de trabajo paralelas, por un lado las tareas e interacciones y por otro la creación de los objetos tridimensionales. En nuestro caso, también se ha diferenciado entre una parte que corresponderá a una interfaz 2D tradicional, compuesta por una serie de formularios, y la interfaz tridimensional correspondiente a la simulación.

Cabe también resaltar que no sólo tras la implementación se produce una fase de pruebas, sino que tras la fase de diseño se producirán validaciones de prototipos en papel y otras pruebas para determinar parámetros de la interfaz háptica, con el fin de hacer partícipes del proceso de desarrollo a los futuros usuarios.

5.1 Estudio previo

El sistema está dirigido principalmente a alumnas de obstetricia y matronas para dotar de un método diferente y novedoso en su enseñanza. La funcionalidad básica del sistema ha de ser simular diferentes casos que se pueden dar en los momentos prepartos, permitiendo la exploración de dichos casos mediante un dispositivo háptico. El sistema podría ser usado por una alumna bajo la supervisión de una docente, pero también se quiere dar la opción de que la alumna lo pueda usar de forma autónoma, y para ello es posible tanto elegir qué situaciones se desean simular como la elección de un modo aleatorio a modo de autoevaluación. Durante todo el proceso se ha contado con la ayuda de una matrona que ha aportado su conocimiento experto para guiar el desarrollo y validar lo implementado.

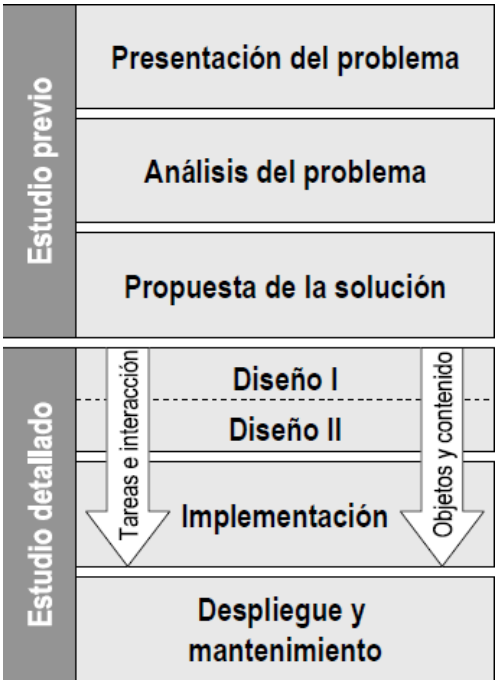


Figura 7: Fases de la metodología TRES-D.

Para este trabajo se ha optado por el dispositivo háptico Novint Falcon (HapticsHouse, 2022), especialmente por su reducido coste comparado con otros dispositivos del mercado, buscando así ofrecer una solución lo más asequible posible. Este dispositivo consta de tres brazos motorizados que se mueven dentro y fuera del cuerpo, unidos a un efector final intercambiable. Este efector final tiene forma de bola, aunque puede ser sustituido por otro, como por ejemplo la empuñadura de una pistola para juegos de acción. La computadora puede realizar un seguimiento de los movimientos del efector a través del espacio en tres dimensiones, así como generar fuerzas de salida para dar una sensación realista del tacto, que puede incluir superficies y texturas y efectos de juego como retrocesos y fuerzas de impacto. El dispositivo es capaz de simular la sensación de los objetos con una precisión submilimétrica y se actualiza con mucha rapidez, lo que hace que la experiencia sea muy suave. En una de las primeras entrevistas con la matrona colaboradora del proyecto, se preparó una prueba para averiguar si ese dispositivo sería capaz de transmitir los diferentes grados de dureza que las matronas distinguen en la exploración obstétrica. Para esta prueba se creó, con la herramienta Unity que se describe después, una escena háptica virtual con varios cubos de igual tamaño pero con distintos valores de dureza, que la matrona podía tocar libremente con el dispositivo Falcon. A través de varias

iteraciones, la matrona trataba de identificar aquellas durezas que mejor se correspondieran con la de la anatomía que se pretendía simular. Las diferencias entre esas durezas son similares a las que se pueden sentir al tocar los labios, el lóbulo de la oreja y la punta de la nariz, referencias anatómicas que se emplean en docencia para explicar las consistencias blanda, media y dura del cérvix, respectivamente. El resultado fue que sí era posible simular la dureza del cuello uterino en diferentes fases del parto, así como el cráneo y las fontanelas, por lo que se siguió adelante con el desarrollo.

Para el desarrollo se escogió el entorno de desarrollo Unity (Unity Technologies, 2022) junto con el asset "3D Haptics for Novint Falcon" (Touchable Universe, 2021). Unity es una herramienta de diseño e implementación de videojuegos cuya principal característica es la capacidad de generar versiones para diferentes plataformas, utilizando C# como lenguaje principal de programación bajo el intérprete Mono Runtime. En cuanto al asset, se trataba del único disponible en la tienda de Unity que daba soporte dispositivo al háptico Falcon en el momento de abordar este desarrollo. Aún y todo, el binomio entre el dispositivo Falcon y el asset de Touchable Universe permite integrar de forma práctica retorno háptico en proyectos de Unity, soportando el renderizado de *normal maps* y ofreciendo un limitado pero variado abanico de materiales predefinidos.

5.2 Estudio detallado

En esta sección se procede a indicar algunos de los aspectos más relevantes obtenidos durante el diseño de los diferentes elementos que componen el sistema: interfaz, modelos, dispositivo háptico y simulador.

La interfaz de usuario contiene todas las opciones para permitir realizar los casos de usos especificados en la fase anterior. Permite, por tanto, establecer los diferentes parámetros de configuración tanto uterina como fetal, guardar el caso realizado, ejecutar la simulación, cargar un caso ya guardado o incluso lanzar una simulación de tipo test o examen. Cabe destacar que en su diseño se han tenido en cuenta los principios heurísticos de Nielsen (Nielsen, 1993), que proporcionan una serie de reglas para garantizar una buena usabilidad del sistema. Dichos principios son los de visibilidad, adecuación, libertad y control por el usuario, consistencia, prevención de errores, reconocer antes que recordar, flexibilidad y eficiencia de uso, estética y diseño minimalista, ayudar a los usuarios a reconocer, diagnosticar y recuperarse de errores y, finalmente, documentar. Sobre esos principios, se opta por realizar un diseño paso a paso con los botones atrás y siguiente, así como mostrar un resumen para verificar las configuraciones antes de comenzar la simulación. En cualquier caso, se requirió de la validación por parte de la matrona de dicha interfaz.

Para el desarrollo de la interfaz y los distintos menús que la componen se ha optado por su realización en el entorno de Unity. Para ello se han utilizado los elementos facilitados por UnityEngine.UI (*User Interfaces*), librería encargada del manejo de interfaces de Unity, y TMPro (*Text Mesh Pro*), para mejorar la representación de texto de UI, ofreciendo mejoras sustanciales en la calidad visual. La Fig. 8 muestra una captura de la interfaz en uno de los pasos de configuración de un nuevo caso de prueba o ejercicio, en concreto el de selección de la presentación del feto.



Figura 8: Interfaz de configuración del caso a simular: presentación del feto.

La pantalla del simulador posee también una interfaz que muestra un resumen de la configuración elegida para ayudar a recordar al usuario y facilitarle las tareas (véase Fig. 9). El botón superior derecho llevaría de regreso al menú principal. En el centro de la ventana se muestran los objetos hápticos tridimensionales del cuello del útero y del cráneo que se corresponden con las diferentes durezas, diámetro de cérvix y orientación de la cabeza seleccionados o cargados.



Figura 9: Pantalla del simulador.

Los modelos 3D tanto del cuello uterino como de la cabeza del feto se han creado usando medidas reales, y la matrona ha comprobado que las medidas que percibe al palparlos con el dispositivo Falcon coinciden con las esperadas (Fig. 10). El hecho de que, como se verá en el apartado de evaluación, los usuarios sean capaces de diferenciar las fontanelas y suturas con los pequeños tamaños que poseen es muy significativo y merece ser destacado.

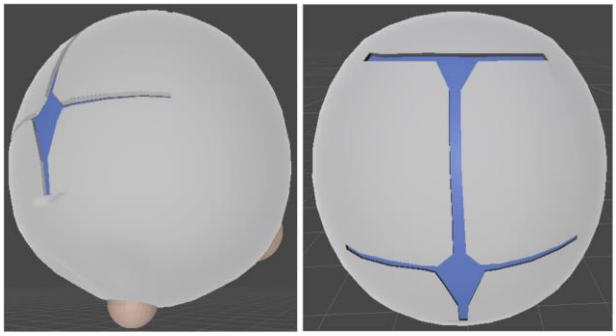


Figura 10: Modelo 3D del cráneo y fontanelas del feto.

Además de las medidas, los objetos deben proporcionar la dureza adecuada al tacto. Las texturas predefinidas que incluía el asset de Touchable Universe en su componente HapticMesh fueron probadas por la matrona, buscando identificar aquellas que más se correspondieran con las consistencias dura, media y blanda que suelen distinguirse al palpar. Tras varias iteraciones, se escogió *Wood* para la dura, *Marshmallow* para la blanda y una entre medias de ambas para la textura media.

Debido a que la técnica de exploración vaginal de las matronas durante el preparto es realizada introduciendo normalmente en la vagina los dedos índice y corazón, no parece que ninguno de los efectores que ofrece Novint para su Falcon, la empuñadura de bola o la de pistola, sean muy apropiados para el simulador que se pretende crear. No obstante, el propio Falcon como dispositivo háptico sí es capaz de simular distintas texturas, duras y blandas, suaves y rugosas, que exige un simulador como este. Tan solo es cuestión entonces de cambiar el efector por otro más adecuado. Sin embargo, para que el funcionamiento del dispositivo no se vea afectado, se necesita conectar el nuevo efector con un circuito electrónico compatible. Afortunadamente, se contaba con un "Pistol Grip Kit" de Novint, que es un kit de empuñadora de pistola para montar que se vende por separado y que incluye ese circuito, y fue el circuito de este kit el que se usó en la construcción de nuestro propio efector *ad hoc*.

El efector creado posee forma de dedal, con articulación de bola, permitiendo así al usuario realizar los movimientos de examen con un dedo. Para dotar de libre movimiento al dedal es necesario incluir un modelo en forma de cuenco, que iría enganchado en el dispositivo y al que se le encajaría dicho dedal, resultando en la articulación de bola tal y como se ve en la Fig. 11.

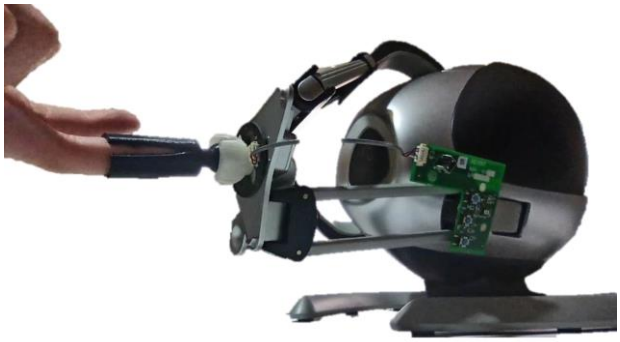


Figura 11: End-effector con forma de dedal conectado al Falcon.

6. Escenario de uso

El menú principal de la aplicación (véase Fig. 12) permite elegir entre las diferentes modalidades: crear nuevo caso, cargar un caso que ha sido previamente guardado o iniciar un modo aleatorio para comprobar conocimientos de la alumna. En este apartado vamos a centrarnos un poco más en este último modo, el aleatorio, como escenario de uso.



Figura 12: Menú principal.

El modo aleatorio está pensado para que la alumna, sin la presencia de una docente, pueda practicar y poner a prueba su habilidad en un caso al azar del que desconoce la configuración usada. Cuando se selecciona esta opción, la aplicación lleva al usuario directamente a la pantalla del simulador donde, en vez de un resumen del caso, esta vez se obtiene un formulario para que sea el usuario quien introduzca los valores que cree haber detectado mediante la exploración con el Novint Falcon (véase Fig. 13).

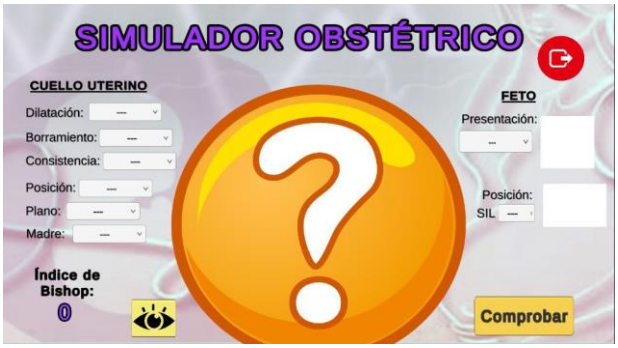


Figura 13: Simulador en modo aleatorio.

Tras introducir los valores, el usuario pulsaría el botón "Comprobar". Con ello, los campos del formulario son marcados en rojo o verde según sean correctos o incorrectos, conforme se ve en la Fig. 14.

Como se puede ver en las imágenes, en este modo se ocultan los modelos gráficos del cérvix y la cabeza del feto tras una gran interrogación para no obtener ningún tipo de pistas visuales, puesto que una exploración real se realiza a ciegas. No obstante, se da la opción de, en un momento dado, desvelar el modelo al pulsar el botón con un icono en forma de ojo (véase la Fig. 15), y de volverlo a ocultar pulsándolo otra vez.

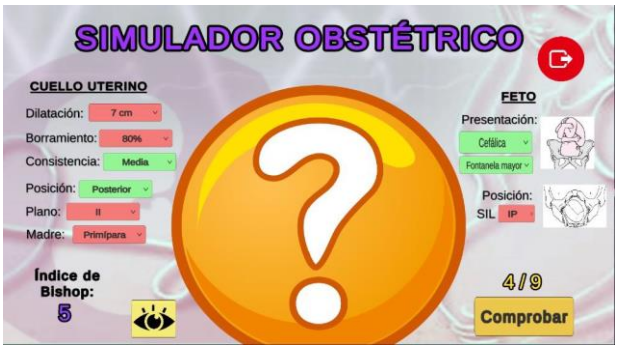


Figura 14: Comprobación de las respuestas.



Figura 15: El botón con un icono en forma de ojo desvela los modelos 3D ocultos.

7. Evaluación

Incluso en las primeras etapas de un proyecto, los conceptos de diseño deben evaluarse para obtener una mejor comprensión de las necesidades del usuario. Es precisamente la obtención de un producto mínimo viable, el presente simulador, lo que ha permitido realizar esta evaluación. El conjunto de participantes para esta prueba de evaluación estuvo formado por tres matronas y un matrón de la Unidad de Enfermería Obstétrico-Ginecológica del Complejo Hospitalario Universitario de Albacete. Su experiencia en esta especialidad era variable: recién terminada, 3 años y medio, 5 años y 20 años. Su nivel de conocimientos de informática como usuario era medio, y solo la mitad habían practicado anteriormente con un entrenador físico como el de la Fig. 1. Con ello se pudo obtener una visión complementaria a la de la matrona partícipe en el proceso de desarrollo.

La prueba se dividió en cuatro partes: en la primera se familiarizaban con el entrenador a través de un caso de uso guiado; en la segunda parte cargaban un caso previamente guardado y practicaban con él; en la tercera se les daba libertad para elaborar y probar los casos que desearan; y en la cuarta y última parte se enfrentaban a un caso aleatorio. Tras la prueba se recopilaron sus impresiones a través de un cuestionario especialmente elaborado para la misma.

A través de sus respuestas se comprobó que a todas las matronas les había gustado el simulador, encontrándolo útil e intuitivo, sin necesitar ninguna ayuda para navegar entre las diferentes escenas, pantallas y opciones. Lo más valorado es el realismo y detalle que presenta, así como la capacidad de comprobar las configuraciones tanto uterinas como fetales que se han indicado, y detectando correctamente las suturas y fontanelas de la presentación cefálica. Además, se constata que, efectivamente, el simulador cubre de manera satisfactoria las diversas presentaciones cefálicas en todos los modos y orientaciones probados. El hecho de que se logre palpar mediante este dispositivo las configuraciones de una manera similar a la real es de vital importancia, aun teniendo en cuenta que lograr una estimulación realista del sentido del tacto es muy compleja (Robles-De-La-Torre, 2006).

Se ha transmitido también que se trata, en palabras de una de las matronas, de "un invento con futuro", al poder ser de gran ayuda para la formación de nuevas profesionales y evitando las molestias actuales a las mujeres embarazadas. También se resalta que si se pudiera unir este proyecto con un simulador de partos real se lograría completar el ciclo de la obstetricia.

Además, todos los participantes indicaron que nunca habían probado ni oído de un simulador de estas características, con lo que se logra también un grado de originalidad y una demostración más de cómo la informática y, en concreto, la

Realidad Virtual, pueden llegar cada vez más lejos en cualquier ámbito que se precie.

8. Limitaciones y trabajos futuros

Una de las limitaciones del presente simulador es que los modelos 3D no son completos por lo que no llega a abarcar todos los casos que pueden darse en la realidad. El modelo del feto se reduce por ahora sólo a la bóveda craneal, pero se podría completar para incluir también presentaciones de cara (orejas, nariz, ojos), nalgas y tronco. También se podría completar la anatomía femenina añadiendo vagina y pelvis. Sin embargo, la mayor limitación de este trabajo es que el dispositivo háptico usado sólo permite tocar en un punto, esto es, solo proporciona realimentación de fuerzas a la punta de un dedo, cuando las matronas suelen usar dos para el examen preparto. Esto no es tanto problema para la palpación de las fontanelas, que es en lo que se ha centrado este trabajo, pero sí para estimar otros signos del parto como es la dilatación del cérvix.

En este sentido, (Ribeiro et al., 2017) exponen sus propias conclusiones tras revisar 57 artículos que abordan la simulación con Realidad Virtual de diferentes técnicas de palpación, publicados entre 1994 y 2013, y a raíz de dichas conclusiones señalan las que ellos consideran que son las oportunidades de investigación y desarrollo en este ámbito. Su principal conclusión es que aún hay una gran distancia que andar hasta lograr una estimulación realista del sentido humano del tacto, debido a que la gran sensibilidad de este sentido impone requisitos que son difíciles de conseguir (Robles-De-La-Torre, 2006). Uno de los aspectos que limitan el realismo en la simulación es, como se ha señalado antes, que muchos trabajos sólo consideran un punto de contacto. Esta limitación no sólo atañe al realismo, sino que también puede empobrecer el aprendizaje, sobre todo porque son muchas las técnicas de palpación usadas en el campo de la salud que usan dos o más dedos para explorar una parte del cuerpo. Así, uno de los retos futuros es conseguir mejorar el realismo. Sin embargo, como también señalan los autores del estudio, la simulación de varios puntos de contacto en los algoritmos de detección de colisiones no es una tarea trivial. De hecho, con respecto a estos algoritmos de detección de colisiones, deformación de tejidos, y cálculo del retorno de fuerza, se destaca que se han hecho pocas aportaciones en el periodo analizado. Las soluciones más usadas pasan por máquinas de estados finitos (FEM) o por el modelo masa-muelle (*mass-spring*), y sólo (Frisoli et al., 2005) propone un nuevo enfoque de algoritmo de deformación. Hay, en general, una falta de algoritmos para múltiples puntos de contacto. Los autores también señalan la ausencia de simuladores colaborativos, aunque algunas propuestas, como la de (Baillie et al., 2010) sí se acercan a la colaboración entre estudiante e instructor. Por último, no se olvidan los autores que muchos proyectos no cuentan con todos los recursos que desearían, de modo que los investigadores deben optar con aquellos dispositivos cuyo ratio coste-beneficio sea el más ventajoso. A este respecto, los más usados son los de la familia Phantom, también, dicen, por su fiabilidad.

En base a lo anterior, actualmente se están explorando varias vías de investigación que nos permitan, en un futuro, completar el simulador obstétrico con al menos dos puntos de contacto. Una de ellas consiste en usar dos dispositivos hápticos iguales, como en (Coles at al., 2011b) donde ya se usan dos Falcon simultáneamente, aunque en ese trabajo los usan como dos puntos de apoyo de su efector en lugar de tener dos efectores separados. Otra de las vías pasa por usar dos dispositivos hápticos distintos, como por ejemplo un Falcon y un guante vibrotáctil, como el que presentamos en (Martínez at al., 2014). Por último, se está considerando también el desarrollo de un efector más elaborado que, sobre un único Falcon, pueda ser usado por dos dedos a la vez.

9. Conclusiones

El presente trabajo presenta un simulador de Realidad Virtual para el entrenamiento de estudiantes de obstetricia utilizando un dispositivo háptico. Este simulador pretende mejorar los métodos de enseñanza y entrenamiento actuales de los que disponen las matronas, que se reducen a modelos creados con plástico o silicona y a la práctica bajo supervisión con mujeres embarazadas reales.

Los métodos de enseñanza con gestantes reales constan de diversos aspectos adversos como bien puede ser la incomodidad de la propia paciente como la molestia que ello les puede suponer en los momentos preparto. No es sólo que la estudiante realice un examen vaginal, es que posteriormente la matrona que la supervisa tenga que corroborarlo, y si no coincide o hay alguna duda, la alumna volverá a examinar. Además, es posible que se dé el caso de que no sea una única alumna quien venga con la matrona. Por otra parte, hay mujeres que pueden sentir dolor durante el examen, que en cualquier caso les aumenta el rechazo a la prueba. Otro aspecto a tener en cuenta de este método de enseñanza es que no se puede elegir qué caso vendrá con la siguiente embarazada. Hay casos más raros que son más difíciles de darse y, por tanto, la práctica con embarazadas no siempre ayuda para enfrentarse a ellos.

Mediante el sistema desarrollado en este trabajo, se obtiene una considerable mejora en cuanto a la diversidad de casos a simular y la posibilidad de un seguimiento personalizado de la alumna, así como los beneficios propios de disponer de un simulador software-hardware que se ciñe lo más fidedignamente posible a la realidad. El entorno del sistema es interactivo y ofrece información para ayudar al usuario durante la simulación. Debido a que la interfaz y la interacción son intuitivas, no se precisa apenas tener conocimientos previos

sobre computadoras o dispositivos hápticos. El presente trabajo se ha centrado y cubre las presentaciones cefálicas en todos sus modos y orientaciones, pero se espera poder ampliarlo en el futuro con más casos y, yendo más lejos, con la posibilidad de usar no sólo uno sino dos dedos en la técnica de palpación.

Agradecimientos

Proyecto PID2020-115220RB-C21 financiado por MCIN/ AEI/10.13039/501100011033 y por "FEDER Una manera de hacer Europa". Los autores quieren agradecer a la Unidad Docente de Matronas del Complejo Hospitalario Universitario de Albacete su inestimable colaboración en el mismo.

Referencias

3D Systems, Scanners and haptics (Online). Available: https://es.3dsystems.com/scanners-haptics [Accessed: 10 October 2022]

Baillie, S., Crossan, A., Reid, S., & Brewster, S. (2003) Preliminary Development and Evaluation of a Bovine Rectal Palpation Simulator for Training Veterinary Students. Cattle Practice, 11(2), pp. 101-106.

Baillie, S., Brewster, S. A., Mellor, D. J., & Reid, S. (2005) Integrating a bovine rectal palpation simulator into an undergraduate veterinary curriculum. *J. Vet. Med. Educ*., 32(1), pp. 79-85.

Baillie, S., Crossan, A., Brewster, S. A., Mellor, D., & Reid, S. (2005) Validation of a bovine rec-tal palpation simulator for training veterinary students. *Studies in health technology and informatics*, 111, pp. 33-36.

Baillie, S., Crossan, A., Brewster, S. A., May, S.A., & Mellor, D. J. (2010) Evaluating an automat-ed haptic simulator designed for veterinary students to learn bovine rectal palpation. *J. Soc. Simul. Healthcare*, 5(5), pp. 261–266.

Burdea, G., Patounakis, G., Popescu, V., & Weiss, R. E. (1999) Virtual reality-based training for the diagnosis of prostate cancer. *IEEE Transactions on Biomedical engineering*, 46(10), pp. 1253-1260.

Coles, T. R., John, N. W., & Meglan, D. (2011) The role of haptics in medical training simulators: A survey of the state of the art. *IEEE Trans. Haptics*, 4(1), pp. 51–66.

Coles, T. R., John, N. W., Gould, D. A., Caldwell, D. G. (2011) Integrating haptics with augmented reality in a femoral palpation and needle insertion training simulation. IEEE Trans. Haptics 4(3), pp. 199–209.

Crossan, A. & Brewster, S. (2001) Comparison of Simulated Ovary Palpation Training Over Different Skill Levels". Glasgow Interactive Systems Group, Department of Computing Science.

Crossan, A., Brewster, S., Reid, S., & Mellor, D. (2002) Multi-session VR Medical Training: The HOPS Simulator. People and Computers XVI-Memorable Yet Invisible, Springer, London, pp. 213-225.

Frisoli, A., Borelli, L., & Bergamasco. M. (2005) Modeling biologic soft tissues for haptic feed-back with an hybrid multiresolution method. *Stud. Health Technol. Inform*. 111, pp. 145-148.

González Merlo, J. (2006) Obstetricia. Edit. Masson.

HapticsHouse, Novint's Falcon Haptic Device (Online) Available: https://hapticshouse.com/pages/novints-falcon-haptic-device [Accessed: 10 October 2022]

Langrana, N.A., Burdea, G., Lange, K., Gomez, D., & Deshpande, S. (1994) Dynamic Force Feed-back in a Virtual Knee Palpation". *Artificial Intelligence in Medicine*, 6(4), pp. 321-333.

Machado, L. S. & Moraes, R. M. (2006) VR-based simulation for the learning of gynaecological examination. In *Advances in Artificial Reality and Tele-Existence*, Springer, pp. 97–104.

Martínez, J., García, A. S., Oliver, M., Molina, J. P., & González, P. (2014) Vitaki: a vibrotactile prototyping toolkit for virtual reality and video games. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 30(11), pp. 855-871.

Molina, J. P., García, A. S., Martinez, D., Manjavacas, F. J., Blasco, V., López, V., & González, P. (2006) The development of glove-based interfaces with the TRES-D methodology. In *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology*, pp. 216-219.

Molina, J.P. (2008) Un enfoque estructurado para el desarrollo de interfaces de usuario 3D. Tesis doctoral. Dpto. de Sistemas Informáticos, Universidad de Castilla-La Mancha.

Moraes, R. M., Souza, D. F. L., Valdek, M. C. O., & Machado, L. S. (2006) A Virtual Reality Based Simulator for Gynecologic Exam Training. *Information Technology Based Higher Education and Training, ITHET 2006*, pp. 786–791.

Nielsen, J. (1993) Usability Engineering. Academic Press, San Diego, USA.

Obst, T., Burgkart, R., Ruckhäberle, E., & Riener, R. (2004) The delivery simulator: a new appli-cation of medical VR. Medicine Meets Virtual Reality 12: Building a Better You: the Next Tools for Medical Education, Diagnosis and Care, 98, pp. 281-287.

Oliver, J., Martínez, J., García, A.B., García, A.S., González, P., Molina, J.P. (2022) Desarrollo con la metodología TRES-D de un simulador obstétrico basado en el dispositivo háptico Phantom. En *Actas del XXII Congreso Internacional de Interacción Persona-Ordenador*, pp. 26-33.

Ribeiro, M. L., Lederman, H. M., Elias, S., & Nunes, F. L. (2016) Techniques and devices used in palpation simulation with haptic feedback. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 49(3), 1-28.

Robles-De-La-Torre, G. (2006) The importance of the sense of touch in virtual and real environments. *IEEE Multi-Media*, 13(3), pp. 24–30.

Russell, B. (2009) "ABC of Relativity". Routledge.

Talhan, A. & Jeon, S. (2017) Pneumatic actuation in haptic-enabled medical simulators: A re-view". *IEEE Access*, 6, pp. 3184-3200.

Touchable Universe, 3D Haptics for Novint Falcon (Online) Available: https://assetstore.unity.com/packages/tools/physics/3d-haptics-for-novint-falcon-119281 [Accessed: 26 September 2021]

Unity Technologies, Unity (Online) Available: https://unity.com/ [Accessed: 10 October 2022]

Virtalis, Virtual Cow (Online) Available: https://www.virtalis.com/haptic-cow/ [Accessed: 10 October 2022]