

Innovación tecnológica para entrenamiento en salud: Simulador para el manejo integral de la vía aérea basado en realidad virtual

Autores: Pérez Armendáriz, María Paula*; Penizzotto, Franco; Stoermann, Walter; Ferreyra, Virginia

Contacto: *perezmpaula@gmail.com

País: Argentina

1. Acerca de la organización

Clínica El Castaño se fundó en el año 2008 como una empresa de salud privada en la capital de la provincia de San Juan. Desde entonces ha prestado ininterrumpidamente servicios médicos polivalentes de excelencia. Posee una fuerte orientación en el trabajo multidisciplinario de todo el personal de salud (médicos, enfermeros, kinesiólogos, farmacéuticos, psicólogos, nutricionista, trabajadora social, acompañante terapéutico, etc.), basados en los conceptos modernos de seguridad y calidad centrado en la persona, congeñando atención personalizada y humanista con el aporte innegable de la tecnología de última generación.

El objeto principal del negocio es la prestación de servicios médicos integrales con internación. La empresa cuenta con casi la totalidad de las especialidades médicas, una guardia de 24 horas y consultorios externos. Adicionalmente en las instalaciones funcionan servicios tercerizados como diagnósticos por imágenes, laboratorio y prácticas paramédicas complementarias.

Clínica El Castaño tiene una corta pero exitosa trayectoria dentro del mercado de la salud en San Juan. En sus quince años de vida se ha posicionado en la provincia como el centro de salud con mayor cantidad de consultas de guardias mensuales, esto gracias a la integración de nuevos servicios y la incorporación de camas de internación en distintas complejidades.

La vocación por la formación continua de su personal y profesionales de salud, junto a la educación de la población sobre distintos aspectos en la profilaxis y detección temprana de patologías han constituido pilares de la gestión desde sus inicios.

2. Descripción del contexto general.

En el año 2014 Clínica El Castaño creó la Fundación Clínica el Castaño, una Organización Sin Fines de Lucro (ONG) concebida con el propósito de generar y promover actividades de prevención de enfermedades no transmisibles en la comunidad, facilitar la formación del equipo de salud en forma continua y desarrollar la investigación necesaria para el avance de las Ciencias de la Salud atendiendo las demandas del medio y La misión a largo plazo se centra en contribuir con dos aspectos primordiales del desarrollo sostenible: Educación y Salud, aceptando el desafío que implica para una institución asistencial transformarse en una institución universitaria dedicada a la profesionalización y jerarquización del equipo de salud.

En línea con lo expuesto se definieron como ejes de trabajo:

- Comunidad: prevención de enfermedades no transmisibles y el bienestar cognitivo del cerebro, promoviendo un estilo de vida saludable en diferentes aspectos tales como alimentación, deporte, cultura, etc.
- Docencia: tiene por objetivo capacitar y jerarquizar al equipo de salud de nuestra institución, Clínica El Castaño, provincia de San Juan y región Cuyo.
- Investigación: impulsar la investigación necesaria para el avance de las Ciencias de la Salud atendiendo las demandas del medio.

- Vinculación tecnológica: promover innovaciones tecnológicas que estén al servicio del sector productivo y las necesidades sociales.

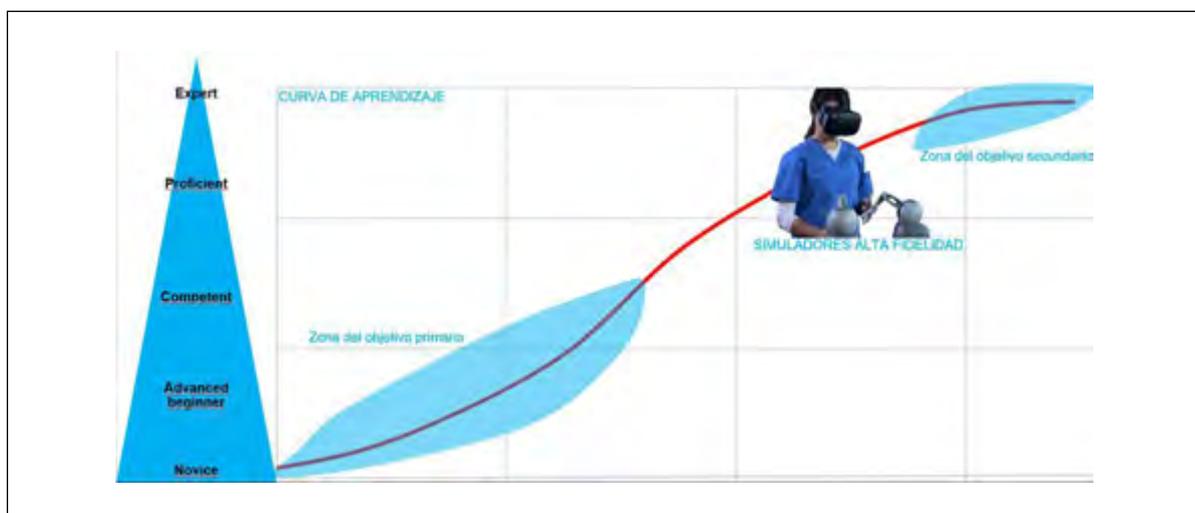
En cada una de las acciones desarrolladas se procura establecer alianzas estratégicas con instituciones públicas y privadas, instituciones educativas, ONGs, estado, medios de comunicación, entre otros a fin de fortalecer el impacto generado con ellas.

El presente trabajo expone los resultados del proyecto “Simulador de entrenamiento práctico y remoto en el manejo integral de la vía aérea para personal de salud, basado en realidad virtual”, presentado en la convocatoria a Proyectos de Innovación Tecnológica, en las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Nación (MINCYT) junto con la Fundación Dr. Manuel Sadosky.

En la ejecución del proyecto la Universidad Nacional de San Juan (UNSJ) junto con el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) son los encargados de llevar a cabo las tareas para el desarrollo del simulador mediante el aporte de sus recursos humanos, la Fundación Dr. Manuel Sadosky otorga parte del financiamiento y asiste al equipo para asegurar la consecución exitosa del proyecto.

La enseñanza de la vía aérea no se realiza de manera integrada, sino que clásicamente se hace en diferentes etapas en los planes de estudios de carreras grado. En los niveles básicos se enseña la anatomía de la orofaringe con conceptos de patologías asociadas, pero sin orientación a las dificultades de la vía aérea en su conjunto, lo cual constituye un real déficit en los egresados de todas las carreras del equipo de salud. Luego, en carreras de postgrado, en diferentes cursos de emergencias, o especialidades médicas como anestesia y terapia intensiva, si se realiza un abordaje integrado pero con limitaciones de acceso al entrenamiento práctico a un grupo reducido de personal médico que habitualmente trabajan en unidades internas sanatoriales, el resto del equipo de salud que trabaja en unidades de guardias externas, salas de clínica médica o servicios ambulatorios no cuentan con esta formación, siendo estos, en su mayoría, los que enfrentan la problemática del manejo de vía aérea.

FIGURA 1. Curva de aprendizaje, niveles de competencias adquiridas y zona objetivo del desarrollo propuesto



Fuente: Elaboración propia.

3. Desafío u oportunidad

Asegurar las vías respiratorias y, por lo tanto, dominar la habilidad de la intubación endotraqueal (ETI por sus siglas en inglés) juega un papel decisivo no solo en la medicina perioperatoria sino también en los entornos de cuidados intensivos y en la medicina de emergencia tanto prehospitalaria como hospitalaria. La intubación endotraqueal es un procedimiento en el que se pasa un tubo a través de la boca llegando hasta la tráquea para mantener las vías respiratorias proporcionando una respiración artificial. Este procedimiento crítico en tiempo, utilizado en muchas situaciones clínicas, requiere habilidades psicomotoras complejas [1]. En cuanto a todas las técnicas y habilidades manuales, ETI también está sujeta a una curva de aprendizaje. De acuerdo con el estado del arte, se recomienda una experiencia frecuente o reentrenamiento periódico para el personal que realiza ETI y el número de intentos requeridos hasta una intubación exitosa disminuye en promedio después de 200 pruebas [2], por lo que las complicaciones que se desarrollan habitualmente durante los primeros procedimientos de intubación justifican la supervisión por un especialista en el campo o un médico experto. En [3] los autores muestran una curva de aprendizaje clásica para una ETI exitosa. Además, estos resultados pueden influir en el requisito mínimo para la calificación en medicina de emergencia. La intubación endotraqueal (EI) es un procedimiento que potencialmente salvavidas, pero de alto riesgo en pacientes críticamente enfermos. Lamentablemente, en más de la mitad de todas las intubaciones endotraqueales de la unidad de cuidados intensivos (UCI) de adultos ocurren complicaciones [4].

Los proveedores de atención médica necesitan capacitación y experiencia significativas para adquirir las habilidades necesarias para una intubación endotraqueal rápida y atraumática para prevenir complicaciones. Sin embargo, los profesionales médicos comúnmente tienen plataformas de capacitación y oportunidades escasas para capacitarse en este procedimiento. Los métodos actuales de capacitación incluyen trabajar con cadáveres y maniquíes, limitando la representación de diferentes situaciones e impidiendo emular circunstancias imprevistas y variables, preocupaciones éticas y baja disponibilidad general con dificultad de acceso, y alto costo. Estos problemas pueden ser subsanados con el uso de simuladores [5]. Para lograr un sistema de entrenamiento superador al tradicional donde los puntos de referencia de progresión son arbitrarios y que en general se observa más el procedimiento seguido que el desempeño alcanzado, los simuladores deben complementarse con métodos de progresión basada en competencias (PBP por sus siglas en inglés) como una forma de entrenamiento en que el aprendiz tiene que lograr un punto de referencia que ha sido definido cuantitativamente. Actualmente, combinar simuladores inmersivos con métodos de entrenamiento basados en competencias adquiridas incluyendo métricas cuantificables de desempeño es la alternativa que posee una mejor proyección futura [6].

La mejor manera de dominar esta habilidad es realizar tantas intubaciones como sea posible, obtener retroalimentación en un entorno seguro que no ponga en peligro la vida de un paciente y realizar periódicamente cursos de actualización para mantener la habilidad una vez adquirida. Específicamente en manejo de vía aérea, hay relativamente pocos productos comerciales y/o prototipos de investigación. Un caso es USIGNITE [7] del Simulation Engineer, Health Care Engineering Systems Center, que presenta un simulador de entrenamiento a nivel prototipo para la práctica de intubación endotraqueal. En [8] se muestran los aspectos técnicos y científicos relacionados con el desarrollo del simulador. Otro producto VR aplicado al manejo de la vía aérea y sin utilización de hardware extra al standard provisto por el casco de realidad virtual es la app de la empresa ARCH VIRTUAL [9], ganando el Best in Show at IMSH 2018 por el producto Airway Lab VR simulation. En su página informan que son capaces de ofrecer sesiones multijugador, donde

un experto y un alumno pueden interactuar en la misma escena. En [10] se abordó también el tratamiento de la vía aérea pero orientada a pediatría, mientras que [11] se orientó a la vía aérea en general utilizando un visor de realidad aumentada. En [12] se incluye también realimentación háptica. La principal debilidad de los productos mencionados es la falta de métricas que permitan ponderar el rendimiento obtenido y cuantificar la competencia adquirida para mejorar el proceso de aprendizaje. En el estado del arte, se diferencian 5 niveles: experto, proficiente, competente, principiante avanzado y novato [13], los cuales se ilustran en la Figura 1. Aunque a nivel internacional se encuentran pocos desarrollos y prototipos, se remarca que actualmente no hay ningún producto diseñado y desarrollado en Latinoamérica acorde al leal saber y entender de los autores.

En este trabajo, presentamos el desarrollo de un simulador inmersivo basado en competencias sobre realidad virtual, para el entrenamiento del procedimiento de intubación endotraqueal de secuencia rápida (RSI por sus siglas en inglés). Este simulador 3D proporciona un entorno para que los profesionales de la salud asimilen estas habilidades psicomotoras complejas y, al mismo tiempo, permite un lugar seguro para practicar una intubación rápida y sin consecuencias por sus errores.

4. La innovación

4.1. Innovación en la plataforma

Esta innovadora propuesta se enfoca en las etapas tempranas e intermedias del proceso de aprendizaje, siendo un sistema que combina un aula virtual con tecnologías inmersivas, como realidad virtual y videos en 360 grados, durante todo el proceso de capacitación.

La plataforma tecnológica se compone de tres elementos principales. En primer lugar, se utiliza un hardware específico, los cascos de realidad virtual Meta Quest 2, que funcionan en modo stand-alone, lo que significa que no requieren hardware adicional y son portátiles, eliminando la necesidad de adaptar laboratorios o instalaciones específicas. En segundo lugar, se desarrolló un software personalizado en forma de aplicaciones stand-alone (APK) que se instalan en los cascos de realidad virtual. Además, se grabaron y editaron videos del tipo realidad 360, donde el usuario puede visualizarlos también en el casco Meta Quest 2 teniendo una vista en primero persona del médico realizando el procedimiento de intubación; con agregado de información relevante durante la visualización. Se utiliza un aula virtual basada en Google Classroom que alberga el contenido teórico, facilita la comunicación, el seguimiento y la evaluación de los alumnos, y permite el desarrollo de clases asincrónicas. Para el *feedback*, el alumno captura el video de su ejecución y lo envía desde el simulador a una cuenta de Messenger del docente, para que este lo califique por el método de observación externa, pero valiéndose de un formulario de google previamente adaptado con cómputo de calificación.

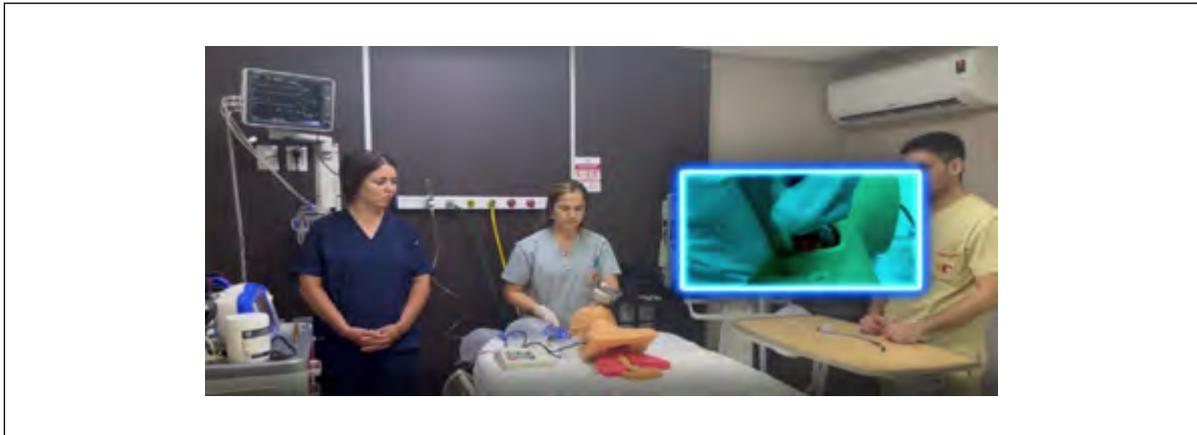
Esta integración de varias tecnologías de aprendizaje virtual es innovadora funcionando en su conjunto dado que permiten la realización de un curso teórico práctico asincrónico, versátil, que no requiere de instalaciones complejas, y de acceso simple a muchas horas de práctica.

FIGURA 2. Print de pantalla de una sección del aula virtual



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 3. Print de pantalla de video plano



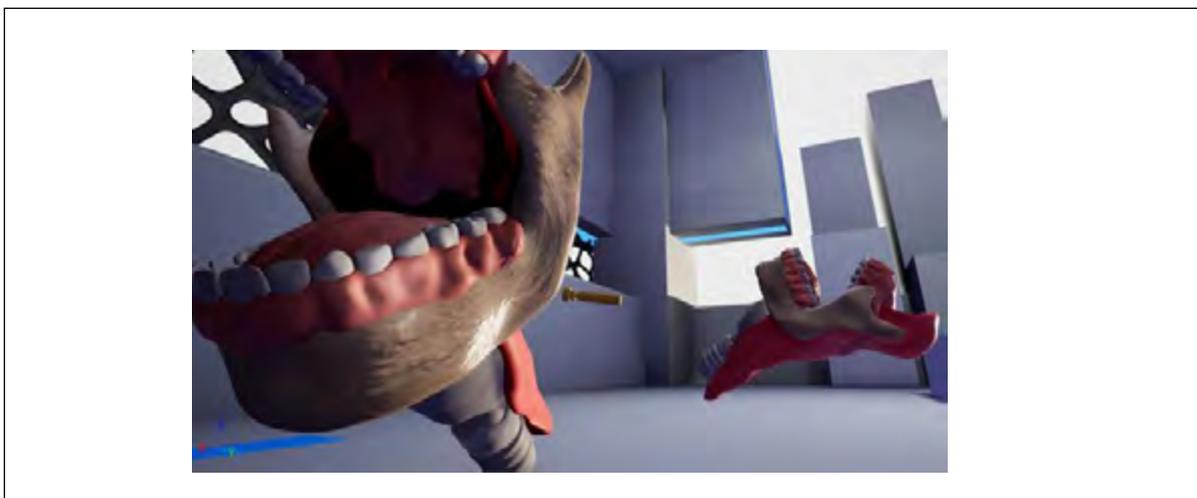
Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 4. Print de pantalla video realidad 360



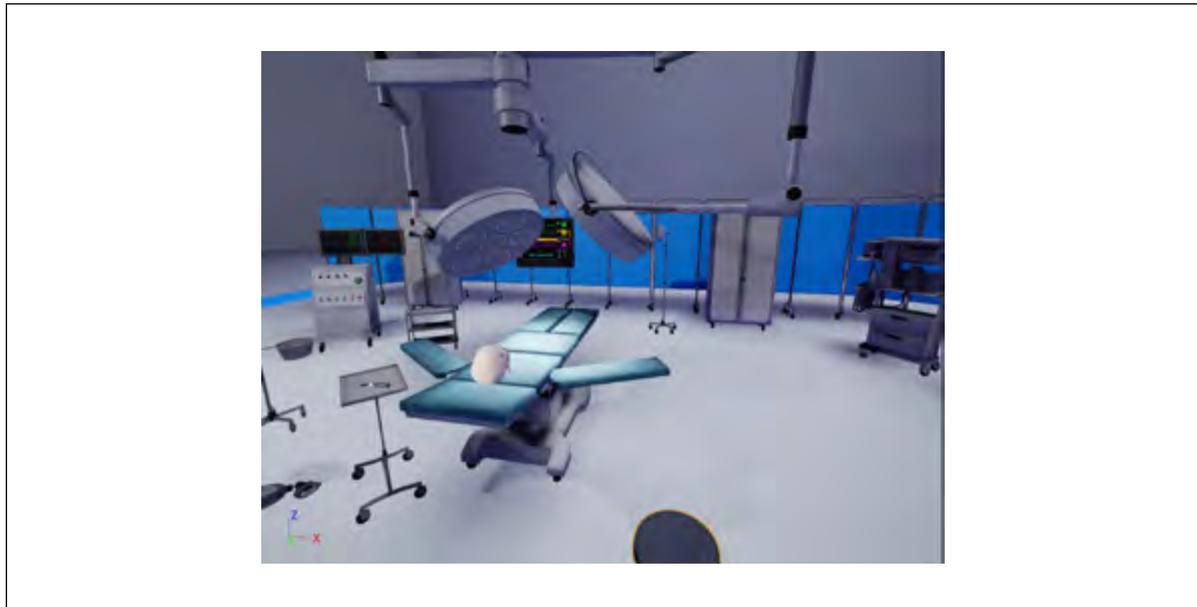
Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 5. Print de pantalla escena de realidad virtual, módulo anatomía



Fuente: Elaboración propia.

FIGURA 6. Print de pantalla escena de realidad virtual, módulo secuencia rápida de intubación



Fuente: Elaboración propia.

4.2. Metodología de la dinámica de curso

La dinámica del curso de capacitación se basa en 5 etapas donde los 3 intermedias se repiten para los distintos módulos del temario. Luego de tener el grupo de alumnos integrados y registrados en el sistema del aula virtual con el docente a cargo, se comienza a recorrer cada módulo de entrenamiento con teoría asincrónica disponible en el aula virtual. Luego el alumno debe realizar el entrenamiento utilizando el casco de realidad virtual en el nivel correspondiente (pueden ser escenarios VR o seguir videos 360). Para cerrar el módulo, el alumno debe completar un desafío corto, también utilizando el simulador VR, y ese desafío es calificado por el docente a cargo o de forma automática mediante formularios precargados en el aula virtual. Finalmente, se cierra el proceso con un encuentro presencial extendido donde se realizan prácticas sobre muñecos de intubación y de forma grupal para reforzar el aprendizaje.

FIGURA 7. Dinámica del Sistema de Entrenamiento Propuesto



Fuente: Elaboración propia.

4.3. Metodología general como modelo monetización

Para el modelo de monetización, se comenzó a implementar una metodología de tres opciones considerando que la capacitación costa de 3 pilares: (a) un docente a cargo, (b) gestión de los alumnos y acceso a aula virtual, y (c) herramienta de entrenamiento práctico:

1. Venta de la capacitación para un grupo de alumnos. El cliente paga un fee por una cantidad de alumnos a ser capacitados.
2. Alquiler de cascos con gestión de alumnos y acceso al aula virtual: La entidad cliente elige cómo, con que docente, y con que metodología dicta las clases, utilizando los cascos y el aula virtual.
3. Venta del simulador (hardware y software), para ser utilizado como herramienta de capacitación con el docente, metodología y material que el cliente disponga.

Si bien estos modelos (1 y 2) aún dependen en parte de la localización de la demanda dado que pueden requerir del envío de los cascos durante el periodo de realización del curso, lo cual no quita que sigue siendo una herramienta versátil que le permite al alumno muchas horas de entrenamiento práctico de calidad.

5. Estrategia de innovación

El sistema presentado en este trabajo se encuentra en etapa de validación de la calidad del entrenamiento, de la metodología y del *pricing*.

En cuanto a las fases de desarrollo tecnológico (software), la tecnología desarrollada hasta el momento abarca el nivel inicial de entrenamiento, siendo incierto aún si también puede servir para un nivel intermedio acorde a los estándares internacionales.

6. Resultados

Como resultado de esta innovación, se ha logrado brindar capacitación teórica-práctica parcialmente remota y asincrónica sobre el procedimiento de intubación endotraqueal. El programa de capacitación se divide en módulos con niveles de dificultad creciente, lo que permite un seguimiento continuo del progreso del alumno al igual que le brinda la posibilidad de entrenar muchas horas y desarrollar sus destrezas motoras y cognitivas involucradas en el procedimiento en cuestión. Además, el uso de la tecnología de realidad virtual ha mejorado la calidad del aprendizaje, reducido los costos asociados al entrenamiento tradicional y ampliado el alcance de la capacitación.

Como trabajo futuro, se plantea la posibilidad de incorporar métricas o índices de desempeño automático (se ejecutan cada vez que se realiza una simulación) que brinden un *feedback* continuo a los estudiantes, lo que les permitirá identificar y trabajar en sus debilidades, acelerando así el proceso de aprendizaje.

7. Lecciones aprendidas

A lo largo del desarrollo del proyecto han sido varias las dificultades presentadas, aspectos técnicos, necesidades de recursos, búsquedas de financiamiento entre otras.

El mayor aprendizaje se identifica en la articulación del equipo, conformado por profesionales de diferentes disciplinas como lo son la salud, gestión de proyectos e investigadores de ingeniería. Las diferencias en el lenguaje, tiempos y perspectivas de cada grupo, en un primer momento significó una barrera que pudo superarse gracias al compromiso de las instituciones con el proyecto.

8. Competitividad tecnológica

En el contexto nacional no se evidencian empresas que brinden servicios de capacitación con este tipo de tecnologías, y tampoco que brinden un sistema con modelos de negocios o implementación modular como el descrito en este trabajo. En los países más avanzados si se encuentran empresas ofreciendo simuladores VR, pero no es una tecnología masiva dado que el hardware que permite modo stand-alone y calidad visual alta es relativamente nuevo; por lo que los modelos de negocios también son nuevos a pesar de que el entrenamiento basado en simuladores no es novedoso en general.

9. Movilizando el ecosistema de innovación

Para la ejecución del proyecto, la empresa articula con otras dos instituciones: el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), encargado de llevar a cabo las tareas para el desarrollo del simulador mediante el aporte de sus recursos humanos; y la Fundación Dr. Manuel Sadosky de Investigación y Desarrollo en las Tecnologías de la Información y la Comunicación, otorga parte del financiamiento y asiste al equipo para asegurar la consecución exitosa del proyecto.

Dicha articulación permite a la empresa aprender del conocimiento de los investigadores en la búsqueda de una solución innovadora a la problemática planteada y al mismo tiempo adquirir experiencia en procesos de vinculación tecnológica.

Esta experiencia ha permitido impulsar el crecimiento mutuo, bidireccional entre empresa e investigadores, generando una alianza a futuro para el desarrollo de nuevos proyectos tecnológicos.

Referencias bibliográficas

- [1] Kunkes, T., Makled, B., Norfleet, J., Schwaitzberg, S., Cavuoto, L. (2022). Understanding the Cognitive Demands, Skills, and Assessment Approaches for Endotracheal Intubation: Cognitive Task Analysis. *JMIR Perioper Med*, 5(1), e34522. <https://periop.jmir.org/2022/1/e34522>
- Bernhard, M., Mohr, S., Weigand, M.A., Martin, E. y Walther, A. (2012). Developing the skill of intubation. *Acta Anaesthesiol Scand*, 56, 164-171. <https://doi.org/10.1111/j.1399-6576.2011.02547.x>
- Satava, R.M. y Gallagher, A.G. (2015). Next generation of procedural skills curriculum development: Proficiency-based progression. *J Health Spec*, 3, 198-205.
- Brown, W., Santhosh, L., Brady, A.K. et al. (2020). A call for collaboration and consensus on training for endotracheal intubation in the medical intensive care unit. *Crit Care*, 24, 621. <https://doi.org/10.1186/s13054-020-03317-3>
- Atesok, K., Satava, R., Marsh, J. L. y Hurwitz, S. (2017). Measuring Surgical Skills in Simulation-based Training. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 25(10), 665-672, doi:10.5435/JAAOS-D-16-00253.
- Azhar, H., Khan, E. S. y Waseem, T. (2022). Proficiency-Based Progression Training: Key To Effective Clinical Procedural Teaching? *Archives of Surgical Research*, 3(2), 4-10. <https://doi.org/10.48111/2022.02.02>
- Rajeswaran, P., Hung, N.-T., Kesavadas, T., Vozenilek, J. y Kumar, P. (2018). AirwayVR: Learning Endotracheal Intubation in Virtual Reality. En *2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)* (pp. 669-670). doi:10.1109/VR.2018.8446075.
- Airway Lab Medical Training - ARCH VIRTUAL (s.f.). <https://archvirtual.com/project/airway-lab-medical-trainingadtalem-global-education/>
- Agasthya, N., Penfil, S. y Slamon, N. (2020). Virtual reality simulation for pediatric airway intubation readiness education. *Cureus*.

- Putnam, E. M., Rochlen, L. R., Alderink, E., Auge, J., Popov, V., Levine, R. y Tait, A. R. (2021). Virtual reality simulation for critical pediatric airway management training. *Journal Clinical and Translational Research*.
- Xiao, X., Zhao, S., Meng, Y., Soghier, L., Zhang, X. y Hahn, J. (2020). A Physics-based Virtual Reality Simulation Framework for Neonatal Endotracheal Intubation. En *2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)* (pp. 557-565). doi: 10.1109/VR46266.2020.00077
- Gallagher, A. G. (2012). Metric-based simulation training to proficiency in medical education:- what it is and how to do it. *Ulster Med J.*, 81(3), 107-13. PMID: 23620606; PMCID: PMC3632817.