



---

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE MEDICINA  
INSTITUTO NACIONAL DE NEUROLOGÍA Y NEUROCIURUGIA  
MANUEL VELASCO SUAREZ**

**PROTOCOLO DE SIMULACION NEUROQUIRURGICA DE PUNCIÓN  
VENTRICULAR CON APOYO DE REALIDAD VIRTUAL Y RASTREO ÓPTICO**

**TESIS**

**PARA OBTENER EL TITULO DE ESPECIALISTA  
EN NEUROCIURUGÍA**

**PRESENTA**

Isaac Enrique Tello Mata

**TUTOR DE TESIS**

Víctor Alcocer Barradas



Ciudad de México, Febrero 2022



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



**DRA. SONIA ILIANA MEJIA PEREZ**  
**DIRECTORA DE ENSEÑANZA**



**INSTITUTO NACIONAL  
DE NEUROLOGIA Y  
NEUROQUIRURGIA  
DIRECCION DE ENSEÑANZA**

**DR. NICASIO ARRIADA MENDICOA**  
**PROFESOR TITULAR DEL CURSO DE NEUROQUIRURGIA**

**DR. VÍCTOR ALCOCER BARRADAS**  
**TUTOR DE TESIS**

## CONTENIDO

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| MARCO TEÓRICO .....               | 5  |
| JUSTIFICACION.....                | 8  |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....   | 9  |
| HIPÓTESIS.....                    | 9  |
| OBJETIVOS.....                    | 11 |
| DISEÑO DEL ESTUDIO .....          | 11 |
| METODOLOGÍA.....                  | 17 |
| PLAN ESTADÍSTICO.....             | 18 |
| CONSIDERACIONES ÉTICAS .....      | 19 |
| CONSIDERACIONES FINANCIERAS ..... | 19 |
| CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....   | 20 |
| RESULTADOS .....                  | 21 |
| DISCUSIÓN.....                    | 23 |
| LIMITACIONES .....                | 24 |
| CONCLUSIONES.....                 | 25 |
| REFERENCIAS .....                 | 27 |



---

## RESUMEN DE LA INVESTIGACIÓN

La punción ventricular es uno de los procedimientos más comunes en neurocirugía, siendo utilizado para el tratamiento de múltiples patologías. A pesar de ser de los procedimientos realizados por los neurocirujanos en formación durante los primeros años, este se ha asociado a una alta morbilidad, la cuál en gran medida se ha atribuido a la mala colocación del sistema de derivación.

En el presente manuscrito se desarrolló un prototipo de simulación de punción ventricular con realidad aumentada y rastreo óptico en el Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía, el cual se utilizó para evaluar el efecto del aprendizaje y la experiencia de manera prospectiva en 34 individuos sobre los resultados de la punción ventricular.

Se encontró que el 100% de las punciones ventriculares fueron efectivas para encontrar el ventrículo en los tres diferentes niveles de experiencia, tanto previo como posterior al uso del simulador neuroquirúrgico. No se encontró superioridad estadísticamente significativa posterior al aprendizaje con el simulador en ninguno de los distintos niveles de experiencia (junior, senior o experto).

Es necesario realizar estudios que incluyan información que incorpore distintos tamaños ventriculares, así como variaciones de la localización de los trépanos en los distintos puntos de punción. Este tipo de cambios, con datos recolectados de manera prospectiva, de alta calidad son requeridos para poder evaluar la seguridad, eficacia y factibilidad de las distintas técnicas de ventriculostomía en el escenario clínico

---

## MARCO TEÓRICO

### ANTECEDENTES

La punción ventricular es uno de los procedimientos más comunes en neurocirugía, y su importancia radica en a importante morbilidad y mortalidad que conlleva. Se ha realizado desde 1744 que se documentó la primer punción por Claude-Nicholas Le Cat. La dificultad del procedimiento ha llevado a buscar nuevas tecnologías para la adecuada colocación [1].

Existen múltiples publicaciones en las que se ha estudiado la tasa de éxito y colocación correcta del catéter con la técnica estándar para la punción ventricular

[2]. Huyette et al. describe que sólo 56% de los catéteres son correctamente posicionados y en 22.4%, la punta del catéter se coloca en espacios extraventriculares, incluso cuando se considera como exitoso el procedimiento [2]. Sarrafzadeh et al., reportan una tasa de complicaciones entre el 10 y 40% de procedimientos de drenaje ventricular externo [1]. Un catéter con flujo exitoso, pero mal posicionado, disminuye la eficacia terapéutica del drenaje, aumenta costos y tiempo en estudios de imagen y procedimientos quirúrgicos correctivos y aumenta el riesgo de lesión al parénquima cerebral [2]. El hecho de realizar una cirugía para recolocar un sistema de derivación ventricular mal posicionado implica un nuevo riesgo quirúrgico para el paciente así como el aumento en los costos hospitalarios y de dicho procedimiento.

La colocación de sistemas de derivación ventricular es uno de los procedimientos más frecuentes en Neurocirugía. La causa más frecuente de falla del sistema suele ser obstrucción del mismo. La adecuada colocación del catéter se ha asociado a una menor tasa de disfunción. El índice de Evans es la medición que se utiliza clásicamente en el estudio preoperatorio de la hidrocefalia.

En un estudio realizado en nuestra Institución en 2017, se concluyó que la colocación del catéter ventricular depende principalmente de la planeación y técnica quirúrgica. Proponemos una nueva medición preoperatoria para predecir una colocación adecuada del catéter ventricular.

El área neuroquirúrgica requiere habilidades y destrezas especiales, que involucran un tacto muy fino así como una propiocepción precisa en combinación con un conocimiento adecuado de las estructuras, para poder realizar procedimientos, muchas veces, a ciegas de dichas estructuras, tal como es la punción y derivación ventricular desde los primeros años de la especialidad. El entrenamiento comienza con la teoría, conociendo la técnica quirúrgica para después pasar a la práctica en el paciente la mayoría de las veces, ya que la mayoría de los centros hospitalarios donde se lleva a cabo la especialidad no cuentan con sitios de entrenamiento previo a llevar a cabo el procedimiento con los pacientes. Entre las posibilidades de entrenamiento se incluye la práctica con modelos cadavéricos, entrenamiento con animales de experimentación y actualmente se han ido incorporando nuevas tecnologías, algunas muy básicas como suturas en un guante, realizar procedimientos endoscópicos en un pimiento, entrenamiento básico en un coco, entre otras que no están descritas en la literatura pero que se llevan a cabo de manera empírica, con lo cual se busca herramientas para practicar y realizar modelos tecnológicos de innovación en simulación quirúrgica.

### **Factores que influyen en el posicionamiento del catéter ventricular.**

El posicionamiento del catéter previo a la punción es esencial. Algunos factores que influyen en su posicionamiento son la anatomía, aspectos técnicos, aspectos relacionados al paciente o al cirujano y en particular el tamaño ventricular y la distancia al agujero de Monro [3]. El tamaño ventricular tiene importancia

dependiendo la edad del paciente. A mayor tamaño del ventrículo, mayor probabilidad de éxito. El sitio ideal para la colocación de la punta del catéter y hacia dónde debe ir dirigido es el agujero de Monro. Posterior a esto, se debe evitar una descompresión rápida de los ventrículos y conectar el catéter al sistema de derivación que requiera el paciente . (Becket 2018) La calidad de la punción ventricular y el procedimiento exitoso depende también del entrenamiento del cirujano.

### **Factores asociados al error.**

Entre los factores principales asociados al error, vistos en nuestro servicio, encontramos que está principalmente asociado a la experiencia de quien realiza la punción. Se muestra en las tablas a continuación el porcentaje de múltiples punciones por procedimiento en los años académicos 2018-2019, y 2019-2020, encontrando múltiples punciones en un 17% y 12% respectivamente.

#### **Pacientes: 118**

| Número de punciones en punto de Kocher | # Px | Punción previa | Nuevo trayecto | % de punciones |
|--|------|----------------|----------------|----------------|
| 1                                      | 98   | 5              | 5              | 83%            |
| 2                                      | 9    | 1              | 1              | 7.6%           |
| 3                                      | 6    | 2              | 0              | 5%             |
| 4                                      | 2    | 0              |                | 1.6%           |
| 5                                      | 2    | 0              |                | 1.6%           |
| 6                                      | 1    | 0              |                | 0.8%           |

**Porcentaje de múltiples punciones: 17%**

**Tabla 1. Porcentaje de punciones marzo 2018 – Febrero 2019**

#### **Pacientes: 54**

| Número de punciones en punto de Kocher | # Px | Punción previa | Nuevo trayecto | % de punciones |
|--|------|----------------|----------------|----------------|
| 1                                      | 48   | 23             | 4              | 88.8%          |
| 2                                      | 2    | 0              | 0              | 3.7%           |
| 3                                      | 1    | 0              | 0              | 1.8%           |
| 4                                      | 2    | 0              | 0              | 3.7%           |
| 5                                      | 1    | 0              | 0              | 1.8%           |
| 6                                      | 0    | 0              | 0              | 0%             |

**Porcentaje de múltiples punciones: 12%**

**Tabla 2. Procentaje de punciones Marzo 2019 – Febrero 2020**



## **Referencias superficiales anatómicas estándar para colocación de catéter ventricular**

Las referencias superficiales anatómicas tradicionales consisten en colocar al paciente en decúbito dorsal, con la cabeza ligeramente flexionada con 0 grados de rotación [4]. El trépano se realiza en el punto de Kocher, el cual se localiza realizando las siguientes mediciones: a 10cm del nasion siguiendo la línea media, en este punto se mide 3 cm lateral a la línea media y se corrobora que esté a 1-2 cm anterior a la sutura coronal, éste será el punto ideal para realizar el trépano. El catéter ventricular es insertado, siguiendo estructuras anatómicas, imaginando como punto objetivo, el vertex que uniría dos líneas que unan la proyección del conducto auditivo externo con el canto interno ipsilateral. Esta línea proyecta la posición del agujero de Monro. Se introducirá el catéter y aproximadamente a 3cm (dependiendo de las condiciones del ventrículo) se perforará el epéndimo, y siguiendo la línea, usualmente se introduce hasta 5cm dicho catéter, aunque las mediciones se deben individualizar en cada paciente para disminuir el riesgo de fallo [4].

## **Conceptos tecnológicos**

La realidad aumentada (RA) inserta contenido virtual en el mundo real sobreponiendo objetos virtuales tridimensionales a objetos reales. A diferencia de la realidad virtual, donde todo el ambiente es generado por computadora, la realidad aumentada muestra tanto objetos reales como virtuales, creando un ambiente semi-inmersivo [5].

La RA permite incorporar estructuras anatómicas virtuales sobre modelos anatómicos, o pacientes, con el objetivo de incrementar la información para simulación quirúrgica.

Dicho de otra forma, el paradigma de la realidad aumentada, implementada como estrategia de interacción natural con objetos digitales para el aprendizaje, permite lograr objetivos de forma efectiva y significativa en más corto plazo y con menores problemas éticos sin riesgo de complicaciones.

El rastreo óptico con esferas, se compone de una cámara infrarroja que localiza las esferas y puede seguir su trayecto, traduciendo de manera virtual la posición de las mismas. Estas esferas, colocadas en un objeto, se utilizan para seguir la trayectoria de dicho objeto y su interacción espacial con los mismos.

## **Componentes**

La herramienta de RA (en aplicación para punción ventricular) consta de cinco módulos principales: sensado, registro, interacción, rastreo óptico y visualización. Primera: En esta fase se emplea una cámara estereo para obtener una vista de un objeto de referencia previamente diseñado. Segunda: En éste módulo se hacen coincidir virtualmente estructuras anatómicas intracraneales con el cráneo impreso en 3D para generar una escena aumentada (Esto también se podría realizar en el cráneo de un paciente). Tercera: Se emplea un estilete impreso en 3D de tal forma

que el usuario pueda tomarlo y dirigirlo para alcanzar con la punta del estilete el foramen de Monro. Cuarta: Se coloca esferas de rastro óptico al estilete, el cual es seguido por una cámara infrarrojo que traduce de manera virtual a la pantalla la posición en tiempo real del estilete sobre las estructuras en pantalla.

Quinta: visualización completa e interacción del usuario en la simulación quirúrgica y observar dichas estructuras para lograr completar de manera exitosa la punción. La visualización con realidad aumentada despliega sobre modelos físicos aquellos casos clínicos basados en casos reales, además, posterior a la simulación pueden visualizarse las trayectorias que el usuario trazó con el estilete y realizar una retroalimentación objetiva y medible de resultados.

### **Aplicaciones en neurocirugía**

El cirujano al observar los estudios de imagen en los cortes sagital, axial y coronal, tiene que realizar una reconstrucción mental tridimensional de la imagen compuesta, y con esto el cerebro puede adaptar la sensopercepción. La realidad aumentada permite ver esta reconstrucción tridimensional de forma virtual, sobre un modelo anatómico, con lo cual mejora la sensopercepción en el entrenamiento.

También se ha descrito como prototipo para planeación de abordajes quirúrgicos, con el motivo de ser más precisos y realizar abordajes menos mórbidos. Se ha descrito su uso para simular la resección total tumoral, con aplicaciones en neuro oncología para poder realizar un “debulking” tumoral y resecar por completo la lesión.

El procedimiento estándar para la colocación del drenaje ventricular externo es uno de los procedimientos más comunes en la neurocirugía en procedimientos de urgencia. Suele emplearse en las hemorragias intracraneales con extensión intraventricular, hemorragias subaracnoideas, lesión traumática cerebral o meningitis bacteriana. Este procedimiento salva vidas al drenar sangre y líquido cefalorraquídeo (LCR) para disminuir la hipertensión intracraneal, monitorear de forma constante la presión intracraneal (PIC) y administrar medicamentos [6]. Este procedimiento suele realizarse en quirófano y ocasionalmente en algunos hospitales en la cama del paciente en la terapia intensiva, o la unidad de trauma, típicamente en condiciones de urgencia por un neurocirujano utilizando referencias anatómicas de superficie [2].

Con el objetivo de mejorar la técnica para la punción ventricular mediante el entrenamiento continuo, proponemos la implementación de un modelo de simulación neuroquirúrgica basado en realidad aumentada con rastreo óptico para el entrenamiento de punción ventricular

---

## **JUSTIFICACION**

La colocación adecuada de un catéter ventricular se relaciona fuertemente con su óptimo funcionamiento. Existen diferentes métodos para guiar una punción

ventricular, aunque no todos están disponibles en varios centros hospitalarios o en escenarios fuera de quirófano, por lo que es necesario contar con un sistema que mejore la precisión de la punción ventricular en estos casos.

Debido a la alta frecuencia con la que se realizan estos procedimientos, basados en el estudio de Stienen M y cols donde se observó que la media de punciones ventriculares durante la residencia de neurocirugía en Europa fue de 109 (IC95: 93-125) [7], el entrenamiento de los médicos en formación se podría complementar con un método basado en modelos anatómicos para trazar una trayectoria de punción adecuada. Por otro lado, existen casos en los que la anatomía del sistema ventricular se encuentra alterada, por lo que el método de punción por referencias anatómicas pierde utilidad. Un sistema de entrenamiento que ofrezca una trayectoria apropiada mejoraría significativamente la punción reduciendo la manipulación cerebral y la tasa de fallas en estos casos.

Por otra parte, este sistema híbrido puede ofrecer distintos escenarios de simulación con diferentes niveles de dificultad ajustados al grado de entrenamiento que tenga el alumno.

El sistema de realidad virtual es de más fácil acceso, económico, con una curva de aprendizaje menor y segura, que además permite realizar un mayor número de ejercicios, con mayor disponibilidad que la práctica en cadáveres o incluso realizarla en procedimientos quirúrgicos directamente como parte del proceso de formación. Aunado a esto, permite evaluar de manera precisa y objetiva la trayectoria de inserción del catéter, así como los movimientos y la relación final de la punta del catéter con respecto al foramen de Monro.

---

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El sistema de realidad aumentada puede combinar una imagen digital en un ambiente real, ofreciendo detalles anatómicos invisibles a la vista. Sin embargo, se desconoce la utilidad que pudiera ofrecer en el entrenamiento o incluso en la planeación de ciertos procedimientos quirúrgicos, como la colocación de catéteres ventriculares.

---

## HIPÓTESIS

### a. Hipótesis de trabajo

El entrenamiento con un sistema de simulación neuroquirúrgica ofrece una mayor precisión en la colocación de catéteres ventriculares.

### **b. Hipótesis estadística**

#### I. Nula

El entrenamiento con un sistema de simulación neuroquirúrgica híbrido no ofrece una mayor precisión en la colocación de catéteres ventriculares.

#### II. Alternativa

El entrenamiento con un sistema de simulación neuroquirúrgica ofrece una mayor precisión en la colocación de catéteres ventriculares

---

## OBJETIVOS

### a. Objetivo Primario

Determinar si la simulación neuroquirúrgica mejora la precisión de una punción ventricular en los participantes.

### b. Objetivos Secundarios

- Determinar la precisión de la punción ventricular guiada por referencias anatómicas
- Determinar la precisión de la punción ventricular guiado por el sistema de realidad aumentada en un modelo de simulación.
- Cuantificar la diferencia en la precisión de la punción previa y posterior al uso del modelo de simulación.
- Implementar un sistema de entrenamiento para médicos en formación que aumente la destreza quirúrgica.
- Innovar en los métodos de adquisición de destrezas quirúrgicas diferentes a los convencionales (disección cadavérica, modelos animales)

---

## DISEÑO DEL ESTUDIO

Estudio de serie de casos, descriptivo y retrospectivo.

## **a. Población de estudio**

### **I. Población blanco:**

Residentes de neurocirugía de todos los años académicos, así como médicos pasantes, así como médicos adscritos del servicio de neurocirugía del Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía “Manuel Velasco Suárez”.

### **II. Población elegible:**

Residentes y pasantes de neurocirugía de todos los años académicos, así como médicos adscritos del servicio de neurocirugía

### **III. Población de estudio**

Residentes de todos los primeros grados académicos y pasantes sin exposición neuroquirúrgica, así como médicos adscritos del servicio de neurocirugía

Se realizó un estudio prospectivo, longitudinal, comparativo, en el cual se realizarán pruebas con el dispositivo mencionado con el fin de valorar la utilidad del modelo híbrido en la precisión de la colocación de la punción ventricular. Se incluyeron 27 de pasantes y residentes del programa de neurocirugía del Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía Manuel Velasco Suárez, obteniendo una muestra total de 54 participantes para realizar el procedimiento antes y después de la aplicación del modelo .

## **b. Muestra**

### **I. Método de muestreo**

Se planteó un cálculo del tamaño de muestra basado en la variable de número de residentes que lograron colocación precisa de la guía en el agujero de Monro:

### **II. Tamaño de muestra**

#### **Tamaño muestral**

|   |    |
|---|----|
| Nivel de significación de dos lados(1-alpha)        | 95 |
| Potencia (1-beta,% probabilidad de detección)       | 80 |
| Razón de tamaño de la muestra, Expuesto/No Expuesto | 1  |
| Porcentaje de No Expuestos positivos                | 50 |

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| Porcentaje de Expuestos positivos | 85  |
| Odds Ratio:                       | 5.7 |
| Razón de riesgo/prevalencia       | 1.7 |
| Diferencia riesgo/prevalencia     | 35  |

|  |               |
|--|---------------|
|  | <b>Fleiss</b> |
| Tamaño de la muestra – Antes del modelo  | 27            |
| Tamaño de la muestra- Después del modelo | 27            |
| Tamaño total de la muestra               | 54            |

**Tabla 3. Cálculo del tamaño muestral.**

Posteriormente se decidió evaluar a 34 individuos en nuestro modelo por conveniencia.

**c. Tamaño de efecto**

1.96

**d. Nivel de confianza**

95%.

**e. Poder estadístico**

20%.

**f. Criterios de selección**

I. Inclusión

Se incluyeron a todos los Residentes y pasantes del servicio de neurocirugía que acepten participar en el estudio.

II. Exclusión

Residentes y pasantes que no acepten o puedan participar en el estudio.

III. Eliminación

Residentes y pasantes que no pudieron realizar el segundo procedimiento por cualquier causa.

Residentes y pasantes que no terminaron la capacitación para el manejo del modelo de realidad aumentada y rastreo óptico.

**g. Variables**

**Tabla 4. Descripción de las variables a estudiar**

| <b>Variable de desenlace (dependiente)</b>                            |   |   |                                  |   |
|---|---|---|----------------------------------|---|
| Nombre  | Definición conceptual   | Definición operacional  | Tipo de variable                 | Instrumento y unidad de medición                |
| Edad  | Número de nacimientos en un sujeto dado por unidad de tiempo (años)   | Número de años cumplidos desde el nacimiento hasta la actualidad.   | Cuantitativa                     | Años  |
| Sexo  | Totalidad de las características de estructuras reproductivas, funciones, fenotipo y genotipo que diferencia a los individuos entre hombre y mujer. | Características físicas que definen al individuo en hombre o mujer.   | Cualitativa, nominal, dicotómica | Hombre, Mujer                                   |
| Nivel de estudios   | Grado académico alcanzado por una persona dada.   | Nivel de estudios en medicina alcanzados para el presente estudio. Desde la pasantía hasta el último año de residencia en neurocirugía. | Cualitativa, Ordinal             | R5<br>R4<br>R3<br>R2<br>R1<br>Pasante,<br>Otra. |
| <b>Principales variables independientes, covariables y confusoras</b> |   |   |                                  |   |
| Nombre  | Definición conceptual   | Definición operacional  | Tipo de variable                 | Instrumento y unidad de medición                |

|   |  |   |                                  |                  |
|---|--|---|----------------------------------|------------------|
| Tiempo en que logra la punción ventricular        | Intervalo del tiempo desde que se inicia el procedimiento hasta alcanzar el objetivo   | Diferencia del intervalo del tiempo medida en minutos desde que se introduce el estilete-guía hasta alcanzar el agujero de Monro                                | Cuantitativa                     | Minutos          |
| Distancia del estilete-guía al agujero de Monro   | Intervalo de separación medido entre dos puntos  | Diferencia en milímetros de separación entre la punta del estilete-guía y el agujero de Monro   | Cuantitativa continua            | Milímetros       |
| Ángulo entre el estilete-guía al agujero de Monro | Porción indefinida de plano limitada por dos líneas que parten de un mismo punto o por dos planos que parten de una misma línea y cuya abertura puede medirse en grados. | Grados de angulación necesarios para alcanzar el agujero de Monro con el estilete-guía al pasar por las estructuras anatómicas registrado por el equipo técnico | Cuantitativa continua            | Grados           |
| Punción ventricular                               | Procedimiento neuroquirúrgico empelado para la derivación de líquido cefalorraquídeo por cualquier causa y a la medición de presión intracraneal                         | Valoración del logro del alcance del agujero del Monro con el estilete-guía.  | Cualitativa, nominal, dicotómica | Sí, No           |
| Número de intentos realizados                     | Número de veces necesario para lograr el   | Número de veces en que se realizó la punción  | Cuantitativa continua            | Números arábigos |



|  |                        |   |  |  |
|--|------------------------|---|--|--|
|  | objetivo<br>propuesto. | ventricular<br>para lograr la<br>introducción<br>del estilete-<br>guía en el<br>agujero de<br>Monro |  |  |
|--|------------------------|---|--|--|

---

## METODOLOGÍA

### **Procedimiento para puncionar:**

Se mostrará las imágenes del estudio de tomografía del paciente antes de realizar la punción

**Posicionamiento:** El usuario se posicionó frente a la mesa de trabajo que simula una mesa quirúrgica, encontró el modelo craneal impreso en 3D a partir del estudio a tratar, en posición decúbito supino, sin lateralización, con un trépano en punto de Kocher derecho. Localizó con las manos en el modelo craneal impreso en 3D las estructuras anatómicas nasion, y canto interno ipsilateral al sitio de punción. Tomó el estilete que contará con esferas reflejantes, se abocará al trépano, y posicionará el estilete.

**Punción de evaluación inicial:** El usuario no pudo ver la proyección virtual en la primer punción.

El usuario realizó la punción a través del trépano, introdujo el estilete con esferas reflejantes y avisó al equipo técnico cuando consideró que ya se encontraba en la posición que el usuario consideró el objetivo (agujero de Monro).

El equipo técnico registró entonces las coordenadas de posición del estilete con respecto al objetivo, y la distancia a la trayectoria ideal así como su angulación. Se registró entonces la primer punción para dicho usuario.

### **Punciones de entrenamiento (10 intentos):**

El usuario se posicionó frente al modelo craneal y la mesa de trabajo. Tomó nuevamente el estilete para puncionar. Se abocó al trépano. Introdujo el catéter, y hará saber, sin mover el estilete cuando se encuentre en el objetivo. Se realizó el registro de distancia al objetivo y a la línea guía.

En ese mismo momento, se aplicó en la pantalla la transparencia al cráneo, se observará el sistema ventricular, las líneas guía y la posición ideal del estilete para que el. Usuario pueda observar su resultado virtual del posicionamiento previo al siguiente intento.

### **Punción de evaluación final.**

El usuario no pudo ver la proyección virtual en el cráneo impreso en 3D.

El usuario realizó la punción a través del trépano, introdujo el estilete con esferas reflejantes

y avisó al equipo técnico cuando consideró que ya se encontraba en la posición que el usuario consideró el objetivo (agujero de Monro).

El equipo técnico registró entonces las coordenadas de posición del estilete con respecto al objetivo, y la distancia a la trayectoria ideal así como su angulación.

Se comparó con sus resultados estadísticos obtenidos en las pruebas.

---

## PLAN ESTADÍSTICO

### **a. Descriptivo**

Para el análisis estadístico se empleará:

Estadística descriptiva: frecuencias con proporciones para las variables cualitativas. Para las variables cuantitativas se realizará medias y desviación estándar, medianas con rangos intercuartiles (q1-q3), de acuerdo con la distribución de la curva de normalidad medida con la prueba de Kolmogorov-Smirnoff o Shapiro Wilks, según corresponda.

Posteriormente, dependiendo de la distribución de las variables, se empleó t de student pareada o Wilcoxon y ANOVA o Kruskal Wallis de acuerdo con el tipo de distribución de las variables estudiadas.

Se tomó en cuenta un  $p < 0.05$  como significativa.

### **b. Paquetería utilizada**

IBM (SPSS®) versión 25 (Chicago, EUA).

### **c. Recursos materiales**

Equipo híbrido de simulación de punción ventricular con realidad aumentada.

Software de visualización de imágenes, el cual comprende lo siguientes:

Equipo de cómputo con software especializado, modelo anatómico de cráneo impreso en 3D, estudios de imagen de tomografía computarizada de pacientes del INNN (anonimizados), sistema de rastreo con esferas, lentes de realidad virtual, cámara digital con infrarrojo, monitores.

### **d. Procedimiento de obtención de consentimiento informado.**

Por la naturaleza del estudio, no aplica la firma del consentimiento informado para uso de su información exclusivamente para fines de estudio.

### **e. Métodos e instrumentos de recolección de datos.**

Los métodos empleados para la medición y recopilación de las punciones ventriculares se llevarán a cabo según lo mencionado en este texto.

Se emplearon bases de datos en formato CSV para la recolección de datos y su posterior uso en el programa estadístico.

**f. Manejo y presentación de datos.**

Análisis estadístico inferencial y descriptivo mediante el software SPSS®.

**g. Seguridad y reporte de eventos adversos**

El presente estudio es considerado como riesgo mínimo para el sujeto de estudio dado que no se realizará ningún tipo de intervención.

---

## CONSIDERACIONES ÉTICAS

El trabajo propuesto reúne las características de un estudio de investigación ético, ya que posee valor científico con un diseño metodológico adecuado para los resultados esperados. Los estudios de imagen que se utilizarán para la formación de los modelos tridimensionales serán completamente anónimos. No se recabaron datos personales, demográficos o clínicos de los pacientes. La relación riesgo/beneficio es favorable ya que ningún paciente fue sometido a riesgo ni se interfirió con su cuidado o seguimiento habitual. Los participantes en el estudio fueron voluntarios anónimos que desearon realizar los ejercicios propuestos. Los ejercicios van encaminados a mejorar la práctica de los residentes en dichos procedimientos; no conllevan ningún riesgo y no involucran actividades que se encuentren fuera del código de conducta del instituto o de otra manera inapropiadas. Por la naturaleza del estudio, no consideramos necesaria la implementación de un formato de consentimiento informado.

---

## CONSIDERACIONES FINANCIERAS

**a. Estudio patrocinado**

Se trabajó en conjunto con el Instituto de Ciencias Aplicadas a la Tecnología (ICAT) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) para el diseño y la implementación del sistema de realidad aumentada. Se utilizaron los recursos con los que cuenta y aquellos que solicite dicha unidad a la UNAM para diseñar el sistema, entre otras convocatorias.

No se solicitaron más recursos materiales o financieros.

### **b. Recursos económicos con los que se cuenta**

Equipo de cómputo con software especializado, modelos anatómicos de cráneos impresos en 3D, estudios de imagen de tomografía computarizada de pacientes del INNN (anonimizados), sistema de rastreo con esferas, lentes de realidad virtual, cámara digital con infrarrojo, monitores.

### **c. Recursos económicos por solicitar**

No se solicitaron más recursos que los mencionados previamente.

### **d. Análisis de costo por paciente.**

El estudio no representó ningún costo a los pacientes o a los participantes del mismo.

---

## **CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES**

Fecha de término del estudio: Enero de 2021.

|   | Primer semana | Segunda semana | Tercera semana | Cuarta semana | Quinta semana | Sexta semana |
|---|---------------|----------------|----------------|---------------|---------------|--------------|
| Elección del tema   | X             |                |                |               |               |              |
| Búsqueda y selección de bibliografía                        |               | X              | X              |               |               |              |
| Elaboración de protocolo                                    |               |                | X              | X             | X             |              |
| Revisión y aprobación de protocolo                          |               |                |                |               | X             |              |
| Recolección de datos  |               |                |                |               | X             |              |
| Concentración de datos y análisis inicial de la información |               |                |                |               | X             |              |
| Análisis estadístico  |               |                |                |               | X             | X            |
| Elaboración de manuscrito                                   |               |                |                |               |               | X            |

|                        |  |  |  |  |  |   |
|------------------------|--|--|--|--|--|---|
| Divulgación científica |  |  |  |  |  | X |
|------------------------|--|--|--|--|--|---|

**Tabla 5. Cronograma de actividades.**

## RESULTADOS

Se incluyeron 34 participantes en el estudio, los cuales fueron evaluados al utilizar el modelo de simulación de punción ventricular. Se realizó la medición de los ejes X, Y y la ponderación de XY con respecto al agujero de Monro previo y posterior a los ejercicios en el simulador.

De los 34 participantes, 82.4% pertenecían al sexo masculino y 17.6% al sexo femenino. La media de edad fue de 34.5 años, con un rango de los 27 años a los 61 años. El 85.3% de los participantes pertenecían a la especialidad de Neurocirugía, y el 14.7% pertenecían a otras especialidades. En las otras especialidades, únicamente participaron residentes, no hubo participación de médicos adscritos, por la falta de adiestramiento en tratamientos quirúrgicos, se incluyeron a todos los participantes de otras especialidades en la categoría de experiencia como Juniors.

Realizando la separación de los grados académicos, se clasificó de acuerdo a la siguiente tabla:

| Grado    | Frecuencia (n) | Porcentaje (%) |
|----------|----------------|----------------|
| R1       | 7              | 20.6           |
| R2       | 3              | 8.8            |
| R3       | 1              | 2.9            |
| R4       | 4              | 11.8           |
| R5       | 2              | 5.9            |
| R6 o FW  | 2              | 5.9            |
| R7 o FW  | 7              | 20.6           |
| Adscrito | 8              | 23.5           |
| Total    | 34             | 100.0          |

Cuando se realizó la separación de los grados de acuerdo al nivel de experiencia se observaron los datos descritos en la siguiente tabla:

| Tabla 6s. Nivel de experiencia |                |                |
|--------------------------------|----------------|----------------|
| Nivel                          | Frecuencia (n) | Porcentaje (%) |
| Junior                         | 14             | 41.2           |
| Senior                         | 15             | 44.1           |
| Experto                        | 5              | 14.7           |
| Total                          | 34             | 100.0          |

Con respecto a la estadística inferencial, se realizó el análisis de las puntuaciones de los participantes pre y post punción, siendo cada participante en cada grupo su propio control, tomando el cuenta el grado de experiencia en tres niveles distintos: junior, senior y experto.

Se realizó de primera forma el análisis de forma estratificada, por grupo, de manera que se empleo la prueba de *t* de Student de muestras pareadas. Previo a este paso, se realizó la prueba de Shapiro-Wilk para determinar la presencia de normalidad en las medias.

Cuando se realizó el análisis en el grupo completo los participantes tuvieron una media de la disminución del error en el eje de las X de 0.062mm (95% CI, 0.92 a 0.15),  $t(33) = 0.144$ ,  $p > 0.05$ , así como disminución del error en el eje de las Y de 0.158mm(95% CI, -0.08 a 0.4),  $t(33) = 1.32$ ,  $p > 0.05$ .

No se encontró diferencia estadísticamente significativa en las medias del error en milímetros tanto en el eje de las X como en el de las Y.

Después, en el grupo de participantes junior, los participantes tuvieron una media de la disminución del error en el eje de las X de 0.099mm (95% CI, -0.22 a 0.019),  $t(13) = 1.81$ ,  $p > 0.05$ , así como disminución del error en el eje de las Y de 0.126mm(95% CI, -0.545 a 0.29),  $t(13) = -0.65$ ,  $p > 0.05$ .

No se encontró diferencia estadísticamente significativa en las medias del error en milímetros tanto en el eje de las X como en el de las Y.

En el grupo de participantes senior, los participantes tuvieron una media de la disminución del error en el eje de las X de 0.094mm (95% CI, -.11 a 0.3),  $t(14) = 0.991$ ,  $p > 0.05$ , así como disminución del error en el eje de las Y de 0.368 (95% CI, -0.018 a 0.75),  $t(14) = 2.046$ ,  $p > 0.05$ .

No se encontró diferencia estadísticamente significativa en las medias del error en milímetros tanto en el eje de las X como en el de las Y.

En el grupo de expertos, los participantes tuvieron una media de la disminución del error en el eje de las X de 0.062mm (95% CI, 0.92 a 1.04),  $t(4) = 0.175$ ,  $p > 0.05$ , así como disminución del error en el eje de las Y de 0.0316 (95% CI, -0.025 a 0.65),  $t(4) = 2.57$ ,  $p > 0.05$ .

No se encontró diferencia estadísticamente significativa en las medias del error en milímetros tanto en el eje de las X como en el de las Y.

---

## DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio prospectivo con 34 participantes y 340 punciones, así como la evaluación de la diferencia del error entre la punción inicial y la punción real sugiere que el prototipo de punción ventricular a mano alzada no tiene un impacto significativo en la mejora de las habilidades psicomotrices involucradas en este procedimiento quirúrgico.

Se ha demostrado previamente que para alcanzar la maestría en algún procedimiento es necesario llevar una curva de aprendizaje, la cual es variable dependiendo de la complejidad del procedimiento, y que además requiere de su práctica constante para mantener de manera óptima su elaboración. Lo anterior concuerda con los hallazgos previamente descritos en este manuscrito, lo cual puede deberse a una serie de factores.

Primeramente, la técnica de Kocher menciona que la trayectoria de la punción ventricular debe ser dirigida hacia la intersección de las trayectorias entre el canto interno ipsilateral y el meato auditivo externo.[4] En un estudio realizado por Kirkman *et al* [8], encontraron que el éxito de la punción ventricular a mano alzada en 279 simulaciones era mayor cuando la trayectoria del estilete era directamente perpendicular al cráneo, o en su defecto, dirigir la trayectoria a la intersección entre el meato auditivo externo y el canto interno contralateral. Sin embargo, durante su análisis, ellos mencionan en su subanálisis, que al comparar el efecto de la experiencia (experiencia baja, media o alta experiencia en ventriculostomías) en el desempeño de los participantes, no se encontró efecto estadísticamente significativo en la distancia del catéter al foramen de Monro en ninguna de las distintas trayectorias propuestas. En este trabajo se concluyó que la diferencia de los resultados era debido a la elección de la trayectoria y no secundario a diferencias en las



competencias. Por otra parte, si encontraron diferencias cuando se comparó el efecto del aprendizaje (repeated measures ANOVA,  $F = 4.080$ ,  $p = 0.004$ ). Realizando la comparación del éxito de la punción en alcanzar el ventrículo, reportan que 2/3 de los participantes consiguieron con éxito la colocación del sistema de derivación, mientras que en el estudio reportado por nosotros se encontró un éxito del 100% en los tres grupos por nivel de experiencia previo al entrenamiento y posterior al mismo en el simulador. La alta efectividad del procedimiento realizado puede ser debido al uso estandarizado de la técnica en nuestra institución, con la guía de marcas visuales específicas para realizar la punción. Además de esta situación, la técnica empleada en nuestro Instituto es una modificación de la descrita por Kocher[4,9], donde la craneometría realizada se toma como punto de partida 10 cm dorsal al nasion, y posteriormente la incisión se realiza 3 cm lateral a la línea media, dirigiendo el estilete de la punción a la intersección de los planos marcados por el meato auditivo externo y el canto ipsilateral. Es necesario realizar evaluaciones en un escenario clínico comparando la tasa de éxito de esta modificación de la técnica y la técnica originalmente descrita.

Kakarla *et al* clasificaron las localizaciones de las punciones ventriculares según un estudio realizado con reconstrucciones tomográficas de 346 pacientes, donde se reportó que la mayoría de los catéteres habían sido colocados de manera correcta en un 87% de los casos, con 5% de ellos con complicaciones hemorrágicas. El éxito de las punciones reportadas en nuestro estudio son superiores a las que fueron mencionadas en este artículo. También se concluyó que la colocación sub óptima del catéter se ha visto asociada a la hemorragia subaracnoidea.[10]

La principal limitación de nuestro estudio es el potencial sesgo por reclutamiento. También, la localización fija del trépano así como del tamaño fijo de los ventrículos empleados en la simulación. En un estudio a posteriori, sería posible utilizar diferentes configuraciones de los ventrículos así como variaciones de los trépanos para valorar la efectividad de la punción a mano alzada, las diferentes trayectorias posibles del estilete, la distancia de la punta con respecto con el Foramen de Monro, así como el efecto del aprendizaje de los participantes durante la prueba.

Otra posible modificación que podría llevarse a cabo, sería el empleo de tecnología que permita tener retroalimentación háptica, la cual puede mejorar la experiencia de los usuarios con el simulador y aterrizar sus habilidades en un ambiente clínico con el cual se encuentren familiarizados.

---

## LIMITACIONES

La naturaleza prospectiva del estudio y un número pequeño de participantes representa una limitación, así como el diseño experimental de un nuevo sistema de simulación de punción ventricular, debido a que falta refinar ajustes con respecto a las mediciones que se deben tomar en cuenta para calificar el éxito de la punción ventricular. Sin embargo, por

tratarse de un prototipo, aún se pueden realizar múltiples maniobras para mejorar la efectividad del sistema de punción, así como el realismo y la háptica del mismo para elaborar una experiencia de simulación mucho más apegada a la realidad.

---

## CONCLUSIONES

En nuestro estudio, la trayectoria de la ventriculostomía por simulación, tanto en el eje de las Y como en el eje de las X con respecto al foramen de Monro no mostró diferencia estadísticamente significativa posterior al entrenamiento con el simulador híbrido con realidad aumentada. Es necesario realizar estudios que incluyan información que incorpore distintos tamaños ventriculares, así como variaciones de la localización de los trépanos en los distintos puntos de punción. Es necesario realizar un mayor número de intentos para evaluar una mayor curva de aprendizaje. Este tipo de cambios, con datos recolectados de manera prospectiva, de alta calidad son requeridos para poder evaluar la seguridad, eficacia y factibilidad de las distintas técnicas de ventriculostomía en el escenario clínico, así como su comparación con técnicas más modernas como lo son la punción por neuronavegación. Una vez realizados dichos estudios tecnológicos, se podría valorar realizar ensayos donde se podría evaluar si hubo mejoría en la destreza clínica en los participantes posterior al entrenamiento en medios inmersivos tecnológicos.

---

## DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERESES

En acuerdo con el Artículo 63 del Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud y al numeral 7.4.5 de la Norma Oficial Mexicana NOM-012-SSA3-2012, declaro bajo protesta de decir la verdad que durante el tiempo en que me encuentre desarrollando las funciones asignadas en el protocolo de Investigación intitulado “Simulación Neuroquirúrgica de Punción Ventricular con Apoyo de Realidad Virtual y Rastreo Óptico” me comprometo en todo momento a actuar bajo los más estrictos principios de ética médica y profesional, para lo cual me apegaré a lo siguiente:

- En el desarrollo de mis funciones tendré acceso a información perteneciente a temas científicos y académicos, así como datos personales de los participantes, por lo que mantendré estricta confidencialidad de la información y datos generados en el proyecto de investigación.
- Cumpliré con las funciones exclusivamente en el cargo que me encuentre.
- En todo momento me conduciré con total imparcialidad y objetividad en la emisión de juicios sobre los resultados obtenidos del protocolo de investigación.
- No tengo situación de conflicto de interés real, potencial o aparente, incluyendo interés financiero, personal o familiar; así como tampoco otro tipo de relación con algún tercero que pudiera tener un interés comercial en el desarrollo, ejecución, resultados y difusión del protocolo de investigación.
- Hago constar que me conduciré por los principios generales de legalidad, honradez, lealtad, eficiencia, imparcialidad, independencia, integridad, confidencialidad y competencia técnica.
- Me comprometo que al advertir alguna situación de conflicto de interés real, potencial o aparente lo comunicaré al Presidente o Secretario del Comité de Ética en Investigación, Presidente del Comité de Investigación y al titular de la Dirección de Investigación.
- Declaro que no estoy sujeto a ninguna influencia directa por algún fabricante, comerciante o persona moral mercantil de los procesos, productos, métodos, instalaciones, servicios y actividades a realizar en el desarrollo del protocolo de investigación.

Por la presente acepto y estoy de acuerdo con las condiciones contenidas en este documento, a sabiendas de las responsabilidades legales en las que pudiera ocurrir por un mal manejo y desempeño en la honestidad y profesionalismo en el desarrollo de mi trabajo.

---

## REFERENCIAS

- [1] Sarrafzadeh A, Smoll N, Schaller K. Guided (VENTRI-GUIDE) versus freehand ventriculostomy: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials* 2014;15:478. <https://doi.org/10.1186/1745-6215-15-478>.
- [2] Huyette DR, Turnbow BJ, Kaufman C, Vaslow DF, Whiting BB, Oh MY. Accuracy of the freehand pass technique for ventriculostomy catheter placement: retrospective assessment using computed tomography scans. *J Neurosurg* 2008;108:88–91. <https://doi.org/10.3171/JNS/2008/108/01/0088>.
- [3] Subramonian K, Muir G. The “learning curve” in surgery: what is it, how do we measure it and can we influence it? *BJU Int* 2004;93:1173–4. <https://doi.org/10.1111/j.1464-410X.2004.04891.x>.
- [4] Mostofi K, Khouzani R. Surface anatomy for implantation of external ventricular drainage: Some surgical remarks. *Surg Neurol Int* 2016;7:577. <https://doi.org/10.4103/2152-7806.189437>.
- [5] Persky S, Lewis MA. Advancing science and practice using immersive virtual reality: what behavioral medicine has to offer. *Transl Behav Med* 2019;9:1040–6. <https://doi.org/10.1093/tbm/ibz068>.
- [6] Muralidharan R. External ventricular drains: Management and complications. *Surg Neurol Int* 2015;6:271. <https://doi.org/10.4103/2152-7806.157620>.
- [7] Stienen MN, Freyschlag CF, Schaller K, Meling T, Al-Amin A, Al-Mahfoudh R, et al. Procedures performed during neurosurgery residency in Europe. *Acta Neurochir*

(Wien) 2020;162:2303–11. <https://doi.org/10.1007/s00701-020-04513-4>.

- [8] Kirkman MA, Muirhead W, Sevdalis N. The relative efficacy of 3 different freehand frontal ventriculostomy trajectories: A prospective neuronavigation-assisted simulation study. *J Neurosurg* 2017;126:304–11.  
<https://doi.org/10.3171/2016.1.JNS152263>.
- [9] Amoo M, Henry J, Javadpour M. Common Trajectories for Freehand Frontal Ventriculostomy: A Systematic Review. *World Neurosurg* 2021;146:292–7.  
<https://doi.org/10.1016/j.wneu.2020.11.065>.
- [10] Kakarla UK, Kim LJ, Chang SW, Theodore N, Spetzler RF. Safety and accuracy of bedside external ventricular drain placement. *Neurosurgery* 2008;63:ONS162-6; discussion ONS166-7. <https://doi.org/10.1227/01.neu.0000335031.23521.d0>.

**CARTA DE AUTENTICIDAD**

Ciudad de México, a 20 de noviembre, 2021.

**DRA. SONIA ILIANA MEJIA PEREZ**

**DIRECTORA DE ENSEÑANZA**

**P R E S E N T E**

Los que suscriben manifestamos que el trabajo de tesis: **Simulación Neuroquirúrgica de Punción Ventricular con Apoyo de realidad Virtual y Rastreo Óptico** es de autoría propia y es una obra original e inédita; motivo por el cual, en goce de los derechos que me confiere la Ley Federal del Derecho de Autor y conforme a lo estipulado en el artículo 30 de la misma, se otorga licencia de uso de este trabajo al **INSTITUTO NACIONAL DE NEUROLOGÍA Y NEUROCIRUGÍA MANUEL VELASCO SUAREZ**, a través de la Dirección de Enseñanza para que, en caso necesario, se utilice el contenido total o parcial de la obra para realizar actividades o diseñar materiales de educación y fomento a la salud; en el entendido de que éstas acciones, no tendrán fines de lucro. La licencia de uso **NO EXCLUSIVA** que se otorga al **INSTITUTO NACIONAL DE NEUROLOGÍA Y NEUROCIRUGÍA MANUEL VELASCO SUAREZ**, tendrá vigencia de forma indefinida, el cual inicia a partir de la fecha en que se extiende y firma la presente. Asimismo, se releva de toda responsabilidad al **INSTITUTO NACIONAL DE NEUROLOGÍA Y NEUROCIRUGÍA MANUEL VELASCO SUAREZ**, ante cualquier demanda o reclamación que llegará a formular persona alguna, física o moral, que se considere con derecho sobre la obra, asumiendo todas las consecuencias legales y económicas.

**MEDICO RESIDENTE**

**TUTOR DE TESIS**



**ISAAC ENRIQUE TELLO MATA**

---

**(NOMBRE Y FIRMA)**

**VICTOR ALCOECER BARRADAS**

---

**(NOMBRE Y FIRMA)**

