



REVISTA PRISMA SOCIAL N° 36

# COMUNICACIÓN, DISCAPACIDAD Y EMPLEABILIDAD EN LA SOCIEDAD DIGITAL

1ER TRIMESTRE, ENERO 2022 | SECCIÓN TEMÁTICA | PP. 195-219

RECIBIDO: 1/11/2021 – ACEPTADO: 16/12/2021

## PERCEPCIÓN TÁCTIL DIGITAL PARA ENSEÑANZA DE PERSONAS CON DISCAPACIDAD VISUAL

DIGITAL TOUCH PERCEPTION FOR TEACHING  
VISUAL IMPAIRMENT PEOPLE

---

RAQUEL ESPINOSA-CASTAÑEDA / RAQUEL.ESPINOSA@UASLP.MX

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA COMUNICACIÓN. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS  
POTOSÍ (UASLP), MÉXICO

HUGO IVÁN MEDELLÍN-CASTILLO / HUGOIVANMC@UASLP.MX

FACULTAD DE INGENIERÍA. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ (UASLP),  
MÉXICO

### FINANCIAMIENTO:

ESTE TRABAJO FUE APOYADO POR EL CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE  
MÉXICO (BECA No. 283503), EL PROGRAMA PAPIAM2012 DE CONACULTA Y EL  
PROGRAMA PRODEP Y FAI, PROGRAMAS DE LA SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA DE  
MÉXICO Y DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ, RESPECTIVAMENTE.



prisma  
social  
revista  
de ciencias  
sociales

## RESUMEN

La percepción cognitiva de escenarios u objetos de gran tamaño o de tamaño muy pequeño, tal como la arquitectura de un edificio o la anatomía de una célula, se basa principalmente en la apreciación visual del escenario u objeto mediante fotografías, imágenes en computadora, o la presencia física. Sin embargo, en el caso de personas con discapacidad visual la apreciación visual no puede utilizarse, por lo que el proceso cognitivo se basa en la apreciación auditiva y táctil. No obstante, la apreciación táctil resulta prácticamente imposible cuando se trata de escenarios u objetos de gran tamaño o de tamaño muy pequeño.

En este trabajo el uso de la apreciación táctil por computadora, también referida como tacto digital o tacto virtual, se propone como una estrategia de comunicación educativa para personas con discapacidad visual. La apreciación táctil digital se logra mediante el uso de sistemas hápticos los cuales añaden el sentido del tacto a la interacción humano-computadora, permitiendo al usuario tocar o palpar los escenarios u objetos virtuales. Los resultados obtenidos demuestran que los participantes con discapacidad visual pueden aprender a identificar objetos utilizando el tacto digital por computadora.

## PALABRAS CLAVE

*Apreciación cognitiva; personas con discapacidad visual; sistemas de realidad virtual; percepción táctil.*

## ABSTRACT

The cognitive perception of scenes or objects of large or very small size, such as the architecture of a building or the anatomy of a cell, is based mainly on the visual appreciation of the scene or object through photographs, computer images, or the physical presence. However, in the case of visually impaired people, visual appreciation cannot be used, so the cognitive process is based on auditory and tactile appreciation. Nevertheless, tactile appreciation is practically impossible when dealing with very small or extremely large objects or scenes.

In this work, the use of the tactile appreciation by computer, also known as digital touch or virtual touch, is proposed as an educational communication strategy for people with visual disabilities. Digital tactile appreciation is achieved with haptic systems, which add the sense of touch to the human-computer interaction, allowing the user to touch or feel virtual scenes or objects. The results obtained show that participants with visual disabilities can learn to identify objects using digital touch by computer.

## KEYWORDS

*Cognitive appreciation; visually impaired people; virtual reality systems; tactile perception.*

## 1. INTRODUCCIÓN

En el proceso de enseñanza y aprendizaje es importante comunicar significados, conceptos, ideas y generar las situaciones educativas apropiadas que lleven a un ambiente de aprendizaje adecuado. Muchas de estas situaciones y entornos educativos se basan en representaciones visuales. Sin embargo, el proceso de enseñanza y aprendizaje de las personas ciegas es una práctica desafiante porque las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), y los materiales visuales convencionales pueden resultar ineficaces. Las materias educativas que comprenden forma, tamaño y conceptos volumétricos, como geometría 3D, biología y arquitectura, pueden parecer fáciles de enseñar a estudiantes sin discapacidad visual; pero cuando se trata de estudiantes ciegos, este proceso se convierte en un desafío mayor. Las herramientas educativas tradicionales para personas ciegas incluyen la percepción táctil de modelos físicos (Baumgartner, Christiane, Wiebel y Gegenfurtner 2015; Lahav 2018). La principal desventaja de este enfoque es la necesidad de una gran variedad de modelos, que pueden ser costosos y requerir grandes espacios de almacenamiento. Además, algunos modelos pueden ser inaccesibles debido a su complejidad o tamaño (demasiado pequeños o demasiado grandes), por ejemplo, cuando se enseña biología celular o arquitectura antigua (Intraub, 2004; Intraub, 2014).

Las tecnologías informáticas modernas comprenden la realidad virtual y los denominados sistemas hápticos, los cuales agregan el sentido del tacto a la interacción humano-computadora y brindan información sobre las propiedades dimensionales y físicas de los objetos virtuales. En consecuencia, el tacto digital se puede utilizar para generar representaciones mentales de objetos virtuales (Espinosa-Castañeda y Medellín-Castillo, 2014; Medellín-Castillo et. al., 2015). Sin embargo, aunque la realidad virtual y los sistemas hápticos se han utilizado ampliamente en el área de las ciencias exactas e ingenierías, poco trabajo de investigación se ha realizado en las ciencias de la educación. De hecho, todavía existen algunos impedimentos perceptuales, tecnológicos y metodológicos que limitan el uso del tacto digital en la educación (Minogue y Jones, 2006). Estos impedimentos son mayores en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las personas con discapacidad visual.

### 1.1. ANTECEDENTES

#### 1.1.1. Comunicación y educación

Partiendo de la definición de comunicación que ofrecen West y Turner, como el «proceso social en el que los individuos utilizan símbolos para establecer e interpretar el significado de su entorno» (2004: 4), y tomando en cuenta que en esta definición los cuatro términos clave de su perspectiva conceptual son: la comunicación como proceso social, como símbolo, como significado y como entorno; en la Figura 1 se hace una semejanza del término comunicación con la educación.

**Figura 1. Semejanza entre comunicación y educación**



**Fuente:** elaboración propia con base en conceptos de West y Turner (2004).  
**Ilustración:** Jeshua Medellín Espinosa

La semejanza entre comunicación y educación es que la educación también es un proceso social que implica al menos la interacción de dos personas pertenecientes al profesorado y al estudiantado. A su vez, en ese proceso dinámico o en desarrollo constante, complejo y continuamente cambiante, se fabrican o construyen significados de los cuales se extrae el mensaje. Tanto en la educación como en la comunicación interactúan símbolos, los cuales son «una etiqueta arbitraria o una representación de fenómenos. Así mismo, las palabras siendo símbolos de conceptos y cosas representan nociones; por ejemplo, la palabra amor representa la idea del amor; la palabra silla representa la cosa en la que nos sentamos» (West y Turner, 2004: 6). En ese sentido la palabra pirámide representa un cuerpo geométrico que tiene una sola base y las caras laterales son triángulos que se unen en un vértice. Sin embargo, el nombre de la pirámide dependerá de la forma de su base; por ejemplo, la pirámide triangular, cuadrangular, pentagonal, etc. En ese contexto, si sólo se ha sido expuesto a una pirámide cuadrangular el símbolo se basará en las experiencias y sentimientos previos, y a partir de ahí probablemente se le den diferentes significados. De esta manera el significado será el término fundamental en la comunicación y la educación, ya que éste será lo que el estudiantado extraiga del mensaje emitido por el profesorado. Por lo anterior, es importante que en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las personas con discapacidad visual en donde se involucre la realidad virtual, las personas aprendan, utilicen y compartan los símbolos de objetos generados por computadora para establecer e interpretar el significado de su entorno virtual.

### **1.1.2. Planes formativos curriculares para personas con discapacidad visual**

Desde el siglo XIX la educación especial ha construido diversos modelos de atención para las personas con discapacidad, transitando por el modelo asistencial, el modelo rehabilitatorio o médico terapéutico, el modelo psicogenético-pedagógico y, en la década de los noventa, el modelo de integración educativa. En la actualidad, el proceso de atención educativa en México para el alumnado con discapacidad se enmarca en el modelo social y se articula de manera estrecha y constitutiva con el enfoque de la Educación Inclusiva (SEP, 2012). En ese contexto, las instituciones de educación especial siguen los planes formativos curriculares propuestos por

la Secretaría de Educación Pública (SEP) de México, pero buscan adecuarlos a las necesidades especiales del estudiantado para reducir la exclusión en y desde la educación.

De acuerdo a la SEP, uno de los ejes temáticos de las matemáticas a nivel primaria es la forma, espacio y medida. Este eje temático incluye conceptos de figuras y cuerpos geométricos, y busca como aprendizajes esperados que los alumnos comprendan, describan y representen el entorno en el que viven, así como resuelvan problemas y desarrollen gradualmente el razonamiento deductivo en relación con el espacio, las formas geométricas y la medición. A lo largo de toda la educación primaria, en el área de matemáticas el alumnado trabaja con diversas figuras geométricas. En tercer grado se estudian algunas de las características de los triángulos y su construcción, en quinto se estudian estas figuras geométricas con mayor profundidad, y en sexto de primaria se continúan el estudio de los cuerpos geométricos y analizan las características de las pirámides rectas triangulares y rectangulares. Por otro lado, en el eje de artes y entorno, patrimonio y derechos culturales, la SEP marca como aprendizajes deseados en quinto y sexto de primaria identificar y visitar monumentos, zonas arqueológicas, museos o recintos culturales (locales o estatales) para explorar su patrimonio y ejercer su derecho a la cultura (SEP, 2022).

Acorde con lo anterior y con el fin de evaluar el uso de sistemas de realidad virtual con tacto digital en la enseñanza de personas ciegas, la metodología experimental propuesta en este trabajo sigue los principios de la educación inclusiva definidos por la SEP de México, y está apegada a los planes formativos curriculares a nivel primaria. En particular se abordan los temas de formas geométricas, y monumentos y estructuras arqueológicas.

### **1.1.3. Realidad virtual**

La realidad virtual (RV) entendida como un conjunto de tecnologías que permite a las personas interactuar con un entorno virtual más allá de la realidad, se define como «un entorno sintético, generado por la computadora y otros dispositivos externos, que permite al usuario interactuar con un mundo virtual 3D en el que los objetos se comportan y parecen reales» (Medellín, 2020). El componente fundamental de la RV es la ilusión, y su eficiencia depende del realismo y el nivel de inmersión. Para lograr un alto nivel de realismo e inmersión se requieren tecnologías informáticas avanzadas capaces de procesar grandes cantidades de datos científicos y gráficos.

### **1.1.4. RV para asistencia de personas con discapacidad visual**

Las interfaces y tecnologías de asistencia, sus usos y aplicaciones, así como los diversos estudios sobre la percepción táctil, han puesto las bases para adentrarse a las nuevas tecnologías de la era digital, tales como la realidad virtual, la realidad aumentada y los ambientes de realidad virtual con dispositivos de retroalimentación táctil digital. Sin embargo, muy pocas investigaciones han explorado las aplicaciones de estas tecnologías de realidad virtual como tecnologías de asistencia educativa para personas con discapacidad visual (Lahav, Schloerb, Kumar y Srinivasan, 2012). La mayoría de las investigaciones que involucran personas con discapacidad visual y ambientes de realidad virtual con retroalimentación táctil digital se han enfocado al desarrollo de habilidades de orientación y movilidad a través de mapas audio-táctiles (Konstantinos, Panagiotis, Eleni, Marina, Asimis y Valari, 2015). Lo anterior debido a

que el conocimiento espacial es fundamental para la autonomía y la mejora de la calidad de vida de las personas con ceguera (Koukourikos y Papadopoulos, 2015).

Desde finales de los años 90's Hardwick et. al. propusieron un prototipo de pantalla táctil de visualización de imágenes tridimensionales en la web basado en un formato del juego de aventuras por computadora (Hardwick et. al., 1998). Normalmente en los videojuegos el usuario se movía entre habitaciones que tenían descripciones en texto o fotos. La diferencia de este prototipo es que en lugar de imágenes se utilizaban simulaciones hápticas para mostrar el contenido de la sala. Esto permitía a las personas usuarias familiarizarse con el entorno y moverse de forma clara y discreta en una habitación completa a la vez, y posteriormente sentir nuevas escenas. Por otro lado, el proyecto VIDET (visual decoder by touch, por sus siglas en inglés, o, decodificador visual por tacto), comprende un sistema robótico portátil que a partir de imágenes adquiridas por dos cámaras de video, genera un modelo virtual 3D del entorno, pudiendo ser percibido por personas con discapacidad visual y obtener una sensación de "un punto táctil" (Macchelli et. al., 2000). Las escenas 3D tienen un conjunto de elementos geométricos y características cinemáticas que VIDET reproduce correctamente; por ejemplo, distancias entre diferentes objetos y el punto de vista, las dimensiones relativas entre obstáculos, la forma y el movimiento. Dicho proyecto demostró que los dispositivos de retroalimentación de fuerza son una alternativa para la movilidad de personas con discapacidad visual y una solución viable para la detección de obstáculos. Siguiendo la misma línea, Lahav y Mioduser, comprobaron que las personas con discapacidad visual son capaces de adquirir significado o información espacial a través de canales sensoriales compensatorios (Lahav y Mioduser, 2008a). Uno de estos canales es el táctil digital dentro de un entorno virtual que simula un espacio real, lo cual puede ayudar a las personas ciegas en su exploración anticipatoria y al mapeo cognitivo de un espacio desconocido.

Los estudios de exploración dentro de entornos virtuales con retroalimentación auditiva y retroalimentación táctil ayudan a las personas a mapear la identidad, la forma y las dimensiones de los objetos sin mucho esfuerzo (Lahav O. y Mioduser D., 2008b). En ese sentido, Sánchez desarrolló un laberinto auditivo háptico (Audio Haptic Maze, AHM) en formato de videojuego (Sánchez J., 2012). En el AHM las y los usuarios debe escapar de un laberinto. Para ello deben encontrar joyeros dispersos a lo largo de varios pasillos y habitaciones que contienen llaves y tesoros. Las llaves tienen formas geométricas que corresponden a determinadas puertas del laberinto. Se deben recoger las llaves y probarlas una a la vez hasta que se identifique qué llave se puede usar para abrir las puertas necesarias para salir del laberinto. El juego agrega otro componente de entretenimiento al aumentar la puntuación del juego con cada tesoro encontrado. Asimismo, Sánchez muestra que quienes utilizaron el videojuego AHM presentaron un desarrollo en sus habilidades de orientación y movilidad luego de haber completado las tareas cognitivas (2012).

Por su parte, el prototipo RoboGuideDog es un sistema de perro guía completamente automático que pretende guiar a personas con discapacidad visual a través de entornos que se escanean con un dispositivo de alcance láser (Gómez y Sandnes, 2012). Las mediciones de la nube de puntos tridimensionales se analizan y transforman en una descripción del entorno que se comunica a quien utiliza el dispositivo a través del habla sintética y/o retroalimentación táctil por medio de un joystick que permite navegar por el espacio físico. El desarrollar un mundo

virtual 3D con interacción táctil digital es difícil, requiere mucho tiempo y exige un nivel alto de programación. El proyecto HITPROTO comprende el desarrollo de un sistema que permita crear de manera rápida y sencilla mundos virtuales con percepción táctil (Panëels et. al., 2013). El sistema está enfocado a personas sin conocimientos informáticos que deseen crear interacciones táctiles con un énfasis en la visualización de datos hápticos (haptic data visualization, HDV) a través de una interfaz de programación visual. HITPROTO usa H3DAPI (h3dapi.org), una plataforma de desarrollo de software abierta que utiliza OpenGL y X3D, y proporciona soporte para varios dispositivos hápticos, como el PHANTOM Desktop. Por otro lado, el proyecto Audio-Haptic-Map comprende una aplicación multimodal que utiliza un dispositivo háptico con retroalimentación de fuerza (Konstantinos et. al., 2015). El objetivo es ayudar a las personas con ceguera a estructurar el conocimiento espacial y los mapas cognitivos en aplicaciones de orientación y movilidad en entornos urbanos. Adicionalmente, Koukourikos y Papadopoulos demostraron que las personas con discapacidad visual pueden desarrollar conocimiento espacial mediante el uso de dispositivos hápticos de bajo costo, tales como el Novint Falcon (Koukourikos y Papadopoulos, 2015).

Los trabajos de investigación relacionados a las tecnologías virtuales con retroalimentación táctil digital, demuestran que las personas con discapacidad visual pueden percibir de manera práctica los espacios a través de aplicaciones virtuales y dispositivos con retroalimentación audio-háptica. Estos trabajos han examinado la capacidad de las y los participantes para representar el espacio después de haber estudiado un mapa audio-háptico (Konstantinos et. Al. 2015), o para moverse en el espacio real después de haberlo explorado virtualmente (Lahav y Mioduser, 2008a; Lahav y Mioduser, 2008b). Sin embargo, no se ha evaluado el uso de los sistemas de realidad virtual con retroalimentación táctil como una herramienta de asistencia para la educación de personas con ceguera. Por lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo evaluar el uso de la percepción táctil digital como una estrategia de comunicación educativa para personas con discapacidad visual.

## 1.2. OBJETIVOS

En este trabajo se propone el uso de sistemas de realidad virtual con percepción táctil digital como un enfoque educativo para superar algunas de las limitaciones y dificultades actuales en la educación de las personas con ceguera. Para ello se realiza un estudio experimental que comprende tres etapas: a) aplicación de una pre-prueba para medir el nivel de conocimientos previo a la enseñanza con tacto digital, b) enseñanza a estudiantes con ceguera utilizando el tacto digital propuesto, y c) aplicación de una post-prueba para medir el nivel de aprendizaje después de la enseñanza con tacto digital.

La hipótesis del presente trabajo de investigación es que el uso de sistemas de percepción táctil digital es factible y efectivo como una nueva técnica de enseñanza para personas con discapacidad visual.

## 2. DISEÑO Y MÉTODO

### 2.1. METODOLOGÍA GENERAL DE LA INTERVENCIÓN

Para evaluar el uso, factibilidad y efectividad de esta nueva técnica de enseñanza con tacto digital para personas con discapacidad visual, se implementó el método de intervención basado en la metodología experimental mostrada en la Figura 2, la cual comprende las siguientes tres etapas principales:

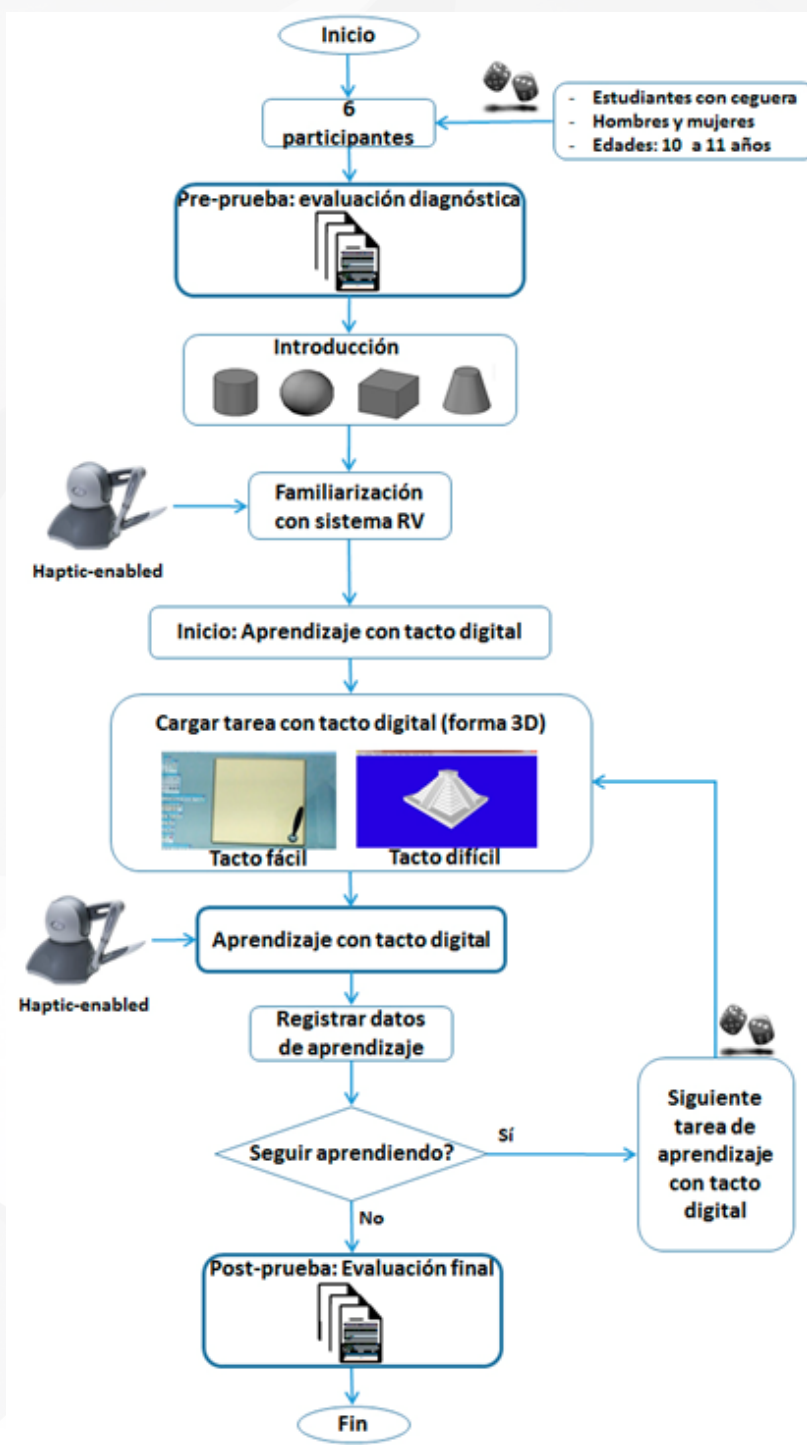
1. Pre-prueba. Aplicación de una prueba previa para medir el comportamiento de la variable dependiente (nivel de aprendizaje y comprensión de los objetos 3D) antes del aprendizaje de realidad virtual con tacto digital;
2. Aprendizaje con tacto digital. Ejecución del proceso de enseñanza-aprendizaje usando la técnica propuesta de realidad virtual con tacto digital; y
3. Post-prueba. Aplicación de una prueba posterior para medir el comportamiento de la variable dependiente después del aprendizaje con tacto digital.

En la fase de pre-prueba se realizó la evaluación diagnóstica a las niñas y los niños participantes con el propósito de determinar su nivel de destreza y la calidad de reconocimiento de objetos previo al aprendizaje con tacto digital. Posteriormente, y como parte de la etapa de aprendizaje con tacto digital, se realizó un proceso de familiarización con el sistema de realidad virtual (RV) con habilitación táctil digital. Después de este periodo de familiarización se realizó el proceso de enseñanza-aprendizaje mediante el sistema RV con tacto digital, buscando generar representaciones mentales en el estudiantado con ceguera de las abstracciones conceptuales. Finalmente se realizó una post-prueba para evaluar el aprendizaje logrado con la técnica de tacto digital propuesta. Para ello se incorporó una clasificación del nivel de aprendizaje alcanzado en función del nivel de destreza, calidad de reconocimiento y comprensión en cada grado de dificultad, los cuales se definieron como: 1) Tacto fácil: enseñanza de geometría y 2) Tacto difícil: enseñanza de arte.

La investigación se llevó a cabo en el periodo del 2018 al 2021, y se realizó en el Instituto para Ciegos y Débiles Visuales (IPACIDEVI) Ezequiel Hernández Romo de San Luis Potosí, México.



**Figura 2. Metodología experimental general**

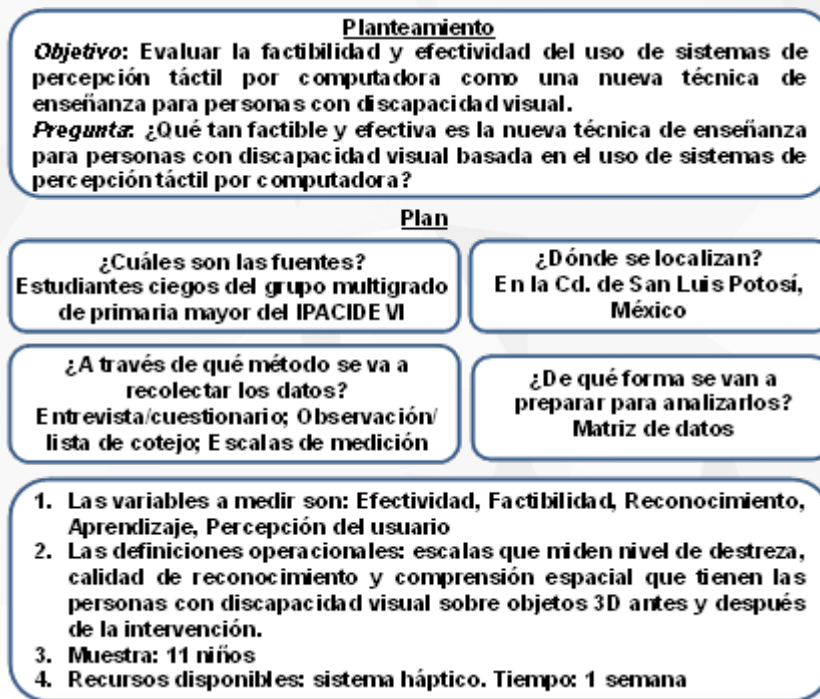


**Fuente: Elaboración propia**

La recolección de datos se basó en el plan mostrado en la Figura 3, donde se especifica las fuentes de obtención de datos y su ubicación, el medio y método de recolección de datos, y la forma de prepararlos para su posterior análisis. Se realizó un acercamiento a las y los participantes mediante la aplicación de una entrevista corta de 15 preguntas para recolectar datos preliminares relacionados a datos generales, situación del sistema visual, interés de exploración por cosas nuevas y conocimientos tecnológicos previos de quienes participaron. La entrevista

se grabó en video e incluyó preguntas de información general como sexo, edad y grado académico; datos sobre la clasificación entre persona con ceguera y con debilidad visual, grado de ceguera, edad y causa de la pérdida de la vista; datos sobre el interés y forma sensorial de exploración del entorno; y datos sobre la familiaridad con varios dispositivos electrónicos (computadoras, teléfonos móviles, tabletas, videojuegos, etc.), habilidades tecnológicas y la frecuencia de uso de estos dispositivos.

**Figura 3. Plan para la obtención de datos**



**Fuente: elaboración propia**

## 2.2. PARTICIPANTES

Las y los niños con discapacidad visual que participaron en el estudio se seleccionaron de acuerdo a los siguientes criterios: sin ninguna habilidad visual, con edades comprendidas entre 10 y 11 años, sin discapacidad múltiple, sin experiencia previa con la realidad virtual o sistemas hápticos, cómodos con el uso de la computadora y ser estudiantes del IPACIDEVI. A pesar de que el universo total de esta investigación fueron 33 integrantes con discapacidad visual del IPACIDEVI, después de haber aplicado los criterios de inclusión y exclusión la muestra final quedó en 6 participantes. La información de cada participante se muestra en la Tabla 1. Cada partícipe después de dar su consentimiento informado, realizó las pruebas contempladas. Cabe mencionar que, debido a la naturaleza del experimento y las características de quienes participaron, no fue posible trabajar con un número mayor de participantes; sin embargo, en estos casos tan especiales se puede omitir el requisito de tener un número mínimo de personas (Yin, 2003; Darrah, 2013).

**Tabla 1. Información de participantes con ceguera, IPACIDEVI, San Luis Potosí, S.L.P. (2018)**

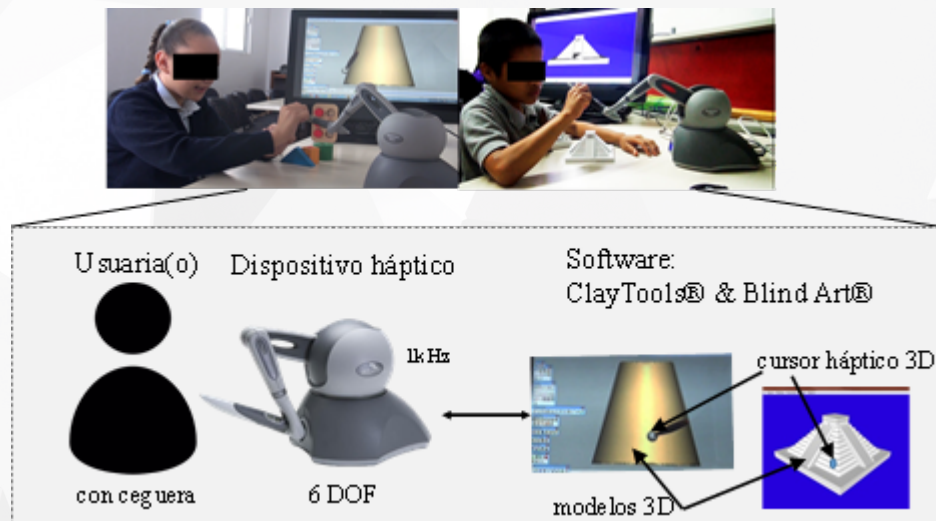
Participantes	Sexo	Edad	Causa de ceguera	Edad al perder la vista	Mano con la que escribe
1	M	10	Sin reporte clínico	0	D
2	M	11	Desprendimiento de retina	5	D
3	M	10	Sin reporte clínico	Sin reporte	D
4	F	11	glaucoma congénito	0	D
5	F	11	microftalmia bilateral	0	D
6	M	11	retinoblastoma bilateral	4	D

**Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Administración de la institución IPACIDEVI**

### 2.3. SISTEMA DE REALIDAD VIRTUAL CON TACTO DIGITAL

Para investigar el uso de la realidad virtual con tacto digital como método de aprendizaje para niñas y niños con ceguera, se utilizaron los software ClayTools® y el Blind Art® junto con un dispositivo háptico Phantom Omni de Geomagic® (anteriormente Sensable®) como se muestra en la Figura 4.

**Figura 4. Esquema del sistema de realidad virtual con tacto digital utilizado**



**Fuente: elaboración propia**

### 2.4. DISEÑO DE TAREAS DE APRENDIZAJE CON TACTO DIGITAL

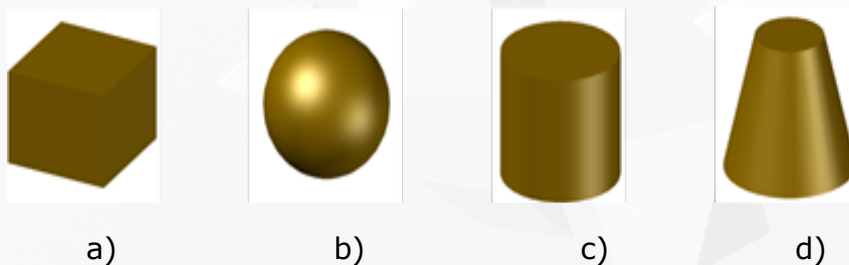
Para evaluar el aprendizaje con tacto digital, se diseñaron dos tareas de aprendizaje en los temas de formas geométricas, y monumentos y estructuras arqueológicas. Estas tareas están apegadas a los principios de la educación inclusiva definidos por la SEP de México y a sus planes formativos curriculares a nivel primaria. Las tareas diseñadas se clasificaron según su grado de complejidad en: 1) Tacto fácil: enseñanza de geometría, 2) Tacto difícil: enseñanza

de arte. Lo anterior debido a que cada tarea incluye objetos 3D con complejidad geométrica distinta. Para cada tarea se evalúa el aprendizaje del estudiantado según su nivel de destreza, calidad de reconocimiento y la comprensión significativa.

### 2.4.1. Tacto fácil: enseñanza de geometría

El objetivo de ésta tarea es que el estudiantado con discapacidad visual aprenda a reconocer cuerpos geométricos a través del uso de sistemas de percepción digital. Para la enseñanza de geometría, en particular de las formas geométricas básicas, se seleccionaron cuatro formas geométricas 3D: 1) cubo, 2) esfera, 3) cilindro y 4) cono, como se muestra en la Figura 5. Las formas virtuales 3D se usaron durante el aprendizaje virtual y en la post-prueba, mientras que los objetos 3D físicos se utilizaron durante el proceso de evaluación de reconocimiento real en la pre-prueba.

**Figura 5. Formas 3D para el aprendizaje de geometría: a) cubo, b) esfera, c) cilindro, d) cono**

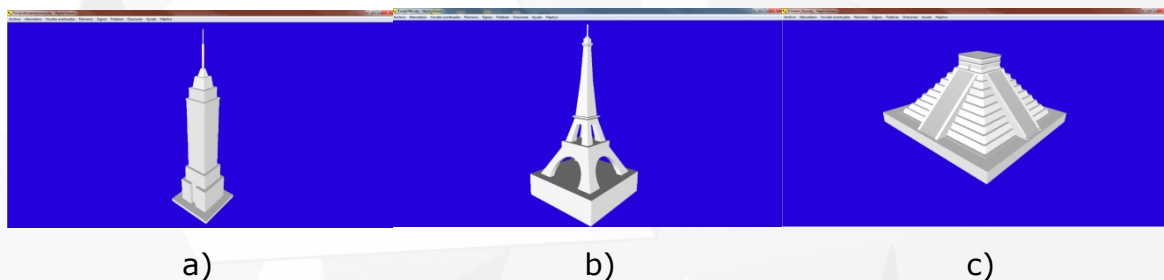


Fuente: elaboración propia

### 2.4.2. Tacto difícil: enseñanza de arte

El objetivo de la tarea para la enseñanza de arte es que el estudiantado con discapacidad visual aprenda a reconocer objetos tridimensionales complejos correspondientes a obras artísticas a través del uso de sistemas de percepción táctil por computadora. Los modelos 3D que se seleccionaron son tres formas artísticas correspondientes a temas de arte, historia y arquitectura: 1) Torre Latinoamericana, 2) Torre Eiffel y 3) Pirámide de Chichen Itzá, como se muestra en la Figura 6. Estas formas 3D virtuales se usaron durante la tarea de aprendizaje con tacto digital y en la post-prueba.

**Figura 6. Modelos artísticos utilizados: a) Torre Latinoamericana, b) Torre Eiffel y (c) Pirámide de Chichen Itzá**



Fuente: elaboración propia

## 3. TRABAJO DE CAMPO Y ANÁLISIS DE DATOS

### 3.1. VALORACIÓN DIAGNÓSTICA

#### 3.1.1 Evaluación antes de la intervención (pre-prueba)

Para tener una idea del conocimiento de geometría 3D de las niñas y los niños participantes, se les mostraron de forma individual cuatro objetos físicos (esfera, cilindro, cono y cubo), pidiéndoles que los reconocieran y nombraran en un período máximo de 2 minutos por cada forma. Por cada sólido designado correctamente se otorgó un punto, y los puntos se sumaron para crear una puntuación entre 0 y 4 puntos por cada participante. Posteriormente se les permitió utilizar el sistema virtual con tacto digital, y se les pidió indicar si podían sentir algo. Para esta actividad se definió una puntuación 0 cuando las y los participantes indicaran no sentir nada y 1 cuando indicaran sentir algo. Así mismo se les solicitó que indicaran si podían reconocer la figura geométrica explorada. En este caso recibieron un punto si podían reconocer correctamente la figura geométrica en cuestión, y 0 puntos si no reconocían correctamente la figura.

#### 3.1.2. Evaluación después de la intervención (post-prueba)

Se estimó la valoración de los resultados de los sujetos en función del nivel de destreza, calidad de reconocimiento y la comprensión significativa de los objetos 3D. El instrumento de evaluación propuesto se basa en determinar el nivel de aprendizaje alcanzado según la superación de habilidades obtenidas en cada grado de dificultad de las tareas de aprendizaje. Dichas habilidades se describen a continuación.

##### 3.1.2.1. Nivel de destreza

Alcanzar esta habilidad corresponde al nivel más básico que supuso superar la decodificación de los signos táctiles virtuales y convertirlos en signos de representación mental en la identificación de objetos. Para conseguir un desarrollo adecuado de esta habilidad las niñas y los niños debieron:

- Encontrar los objetos tridimensionales en el escenario virtual
- Disminuir el tiempo que se tarda en reconocer el objeto 3D

Los diferentes niveles de destreza alcanzados se definen y clasifican como:

- Nivel 2. Logrado: Es capaz de encontrar todos los objetos virtuales.
- Nivel 1. En proceso: Tiene dificultades para encontrar los objetos virtuales.
- Nivel 0. No Logrado: No es capaz de encontrar objetos virtuales.

##### 3.1.2.2. Calidad de reconocimiento

La adquisición de esta habilidad supuso establecer una relación de correspondencia unívoca entre la percepción táctil y el nombre resultante de los objetos 3D. Para conseguir un desarrollo adecuado de esta habilidad, las niñas y los niños deben:

- Nombrar correctamente los objetos 3D
- Nombrar especificaciones (superficies y bordes) de los objetos 3D

Los diferentes niveles de calidad de reconocimiento se definen y clasifican como:

- Nivel 2. Logrado: Es capaz de nombrar todos los objetos virtuales y sus partes.
- Nivel 1. En proceso: Tiene dificultades para nombrar los objetos virtuales y sus partes.
- Nivel 0. No Logrado: No es capaz de nombrar objetos virtuales y sus partes.

### 3.1.2.3. Comprensión significativa

La habilidad de comprender y extraer significados de los objetos 3D explorados, dependió en gran medida de la relación que le confirió el estudiantado al objeto en el contexto del tema que se trató. Por ejemplo, las figuras geométricas deben significarle cuerpos geométricos y los objetos arquitectónicos complejos deben significarle la diferencia entre edificio, pirámide o torre. Para conseguir un desarrollo adecuado de esta habilidad las niñas y los niños debieron:

- Extraer significado de los objetos 3D en relación del contexto del objeto

Los diferentes niveles de comprensión alcanzados se definen y clasifican como:

- Nivel 2. Logrado: Es capaz de extraer el significado de todos los objetos virtuales y comprender el contexto en el que se encuentran.
- Nivel 1. En proceso: Tiene dificultades para extraer el significado de algunos de los objetos virtuales y comprender el contexto en el que se encuentran.
- Nivel 0. No Logrado: No es capaz de extraer el significado de todos los objetos virtuales y comprender el contexto en el que se encuentran.

## 3.2. PROCESAMIENTO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los datos recolectados de las pruebas experimentales se capturaron en el programa Excel para su procesamiento y análisis, así como su exportación al programa estadístico PASW Statistics 18–SPSS. En este último programa se utilizaron las pruebas no paramétricas de Kolmogorov-Smirnov, de Mann-Whitney y la de los rangos con signo de Wilcoxon, para probar la normalidad de los datos. Así mismo se utilizó la prueba de T de Student de muestras relacionadas para comprobar si hubo una diferencia entre la prueba inicial y la prueba final, y si ésta diferencia es significativa o no. Así mismo se utilizó ésta prueba para medir la media, las varianzas y la significancia bilateral. Con dicha prueba se compararon las calificaciones tanto en el antes como en el después de la intervención y se observó el aprendizaje significativo de los estudiantes. Todas las pruebas se realizaron con un 95% de confianza. Así mismo se utilizaron las medidas de tendencia central, media, mediana, moda, las medidas de dispersión, el rango y la desviación estándar, frecuencias relativas y frecuencias absolutas. Finalmente se trató de aplicar la prueba Chi cuadrada de Pearson, pero debido a que dicha prueba de hipótesis requiere al menos 5 personas por categoría, no se pudo aplicar. Sin embargo, se utiliza la tabla resultante sólo para describir el porcentaje de participantes que están en proceso de aprendizaje y de quienes han logrado el nivel deseado de aprendizaje. Una vez finalizada la intervención, la aplicación de la prueba y captura de datos, se procedió al análisis e interpretación de los resultados de acuerdo a las habilidades y niveles generales descritos anteriormente.

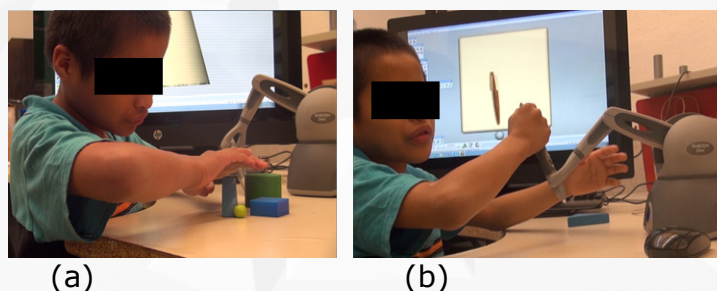
## 4. RESULTADOS

Los resultados obtenidos de los datos en la pre-prueba y la post-prueba para cada una de las modalidades, tacto fácil y tacto difícil, se presentan a continuación.

### 4.1. TACTO FÁCIL: ENSEÑANZA DE GEOMETRÍA

La Figura 7 muestra a uno de los participantes durante las pruebas previa y posterior durante el ejercicio de tacto fácil.

**Figura 7. Participante durante enseñanza de geometría: a) pre-prueba física y b) post-prueba virtual**



**Fuente: elaboración propia**

Los resultados del conocimiento de las y los participantes en la pre-prueba y post-prueba se resumen en la Tabla 2. A partir de estos resultados, se observa que las niñas y los niños con ceguera pudieron reconocer, en promedio, 0.8 formas de 4 en la prueba previa. Por otro lado, después del período de aprendizaje virtual la mayoría pudo reconocer las cuatro formas 3D correctamente. El conocimiento inicial de las y los participantes sobre las formas 3D fue de 0.8/4, y después del período de aprendizaje con tacto digital su conocimiento aumentó sustancialmente a 3.8/4.

**Tabla 2. Resultados de conocimientos previos y posteriores de geometría**

Prueba	Participante						Promedio
	1	2	3	4	5	6	
Pre-prueba	0	1	0	0	1	3	0.8
Post-prueba	4	4	4	3	4	4	3.8

**Fuente: elaboración propia**

La Tabla 3 presenta los valores promedio del tiempo en completar cada tarea (TCT), así como los valores correspondientes de desviación estándar (SD) de los partícipes para cada iteración y forma 3D. De esta tabla se observa que los valores máximos corresponden a la primera iteración tomada como pre-prueba y los valores mínimos corresponden a la post-prueba.

**Tabla 3. Valores TCT promedio en la enseñanza de geometría**

Forma 3D	Promedio TCT (SD) (segundos)				
	Iteración del reconocimiento virtual háptico				Reconocimiento real
	Pre-prueba	2	3	Post-prueba	
Cubo	48.83 (47.97)	38.67 (43.96)	19.00 (14.78)	34.50 (21.74)	3.83 (2.11)
Cono	94.67 (37.66)	51.67 (25.79)	29.17 (19.40)	24.83 (20.86)	4.17 (1.67)
Cilindro	156.33 (105.25)	82.50 (48.84)	40.50 (43.07)	41.00 (39.09)	6.17 (1.95)
Esfera	104.50 (51.67)	31.67 (18.14)	22.33 (20.32)	27.83 (26.00)	4.67 (1.89)

Fuente: Directa; hojas de cotejo

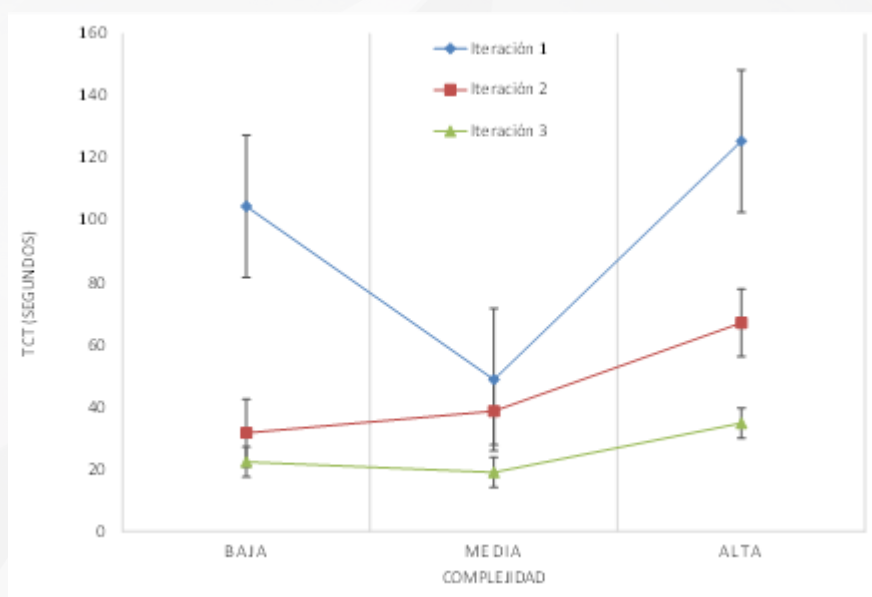
Para definir la complejidad geométrica de los objetos 3D, se tomó en cuenta el tipo de superficies y del número de bordes que los componen. Las formas de alta complejidad contienen varios tipos de superficies y una gran cantidad de bordes, mientras que las formas de baja complejidad comprenden pocos tipos de superficies y una pequeña cantidad de bordes. Según este concepto, las cuatro formas 3D utilizadas en el estudio experimental se clasificaron en formas complejas bajas, medias y altas. El cilindro y el cono se consideran formas más complejas porque se componen de superficies planas y redondas, mientras que la esfera se considera la forma menos compleja ya que solo contiene una superficie redonda sin bordes. La Tabla 4 muestra los valores TCT en función de la complejidad geométrica de las formas 3D. Estos valores también se representan en la Figura 8, en donde se observa que, en general, a medida que aumenta el nivel de complejidad el tiempo para completar la tarea (es decir, el tiempo para reconocer la forma virtual) aumenta. Las formas complejas requieren más tiempo para ser reconocidas que las formas simples. También se observa que a medida que el proceso de aprendizaje progresa de la pre-prueba a la iteración 1, la iteración 2, y al post-prueba, los valores TCT y las diferencias de tiempo entre las diferentes formas disminuyen.

**Tabla 4. Complejidad de la tarea de enseñanza de geometría**

Forma 3D	Características geométricas	Nivel de complejidad	TCT (segundos) Iteración			
			Pre	1	2	Post
Esfera	Superficie redonda, 0 bordes	Bajo	104.50	31.67	22.33	27.83
Cubo	Superficie plana, 12 bordes	Medio	48.83	38.67	19.00	29.67
Cilindro & cono	Superficies planas y redondas, 2 bordes	Alto	125.50	67.08	34.83	41.00

Fuente: Directa; hojas de cotejo



**Figura 8. Desempeño en tiempo vs complejidad de la forma**

**Fuente: elaboración propia**

Los resultados también se utilizaron para calcular los valores de normalidad con la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Los valores consideradores fueron el tiempo promedio de reconocimiento en la evaluación inicial, el tiempo promedio de reconocimiento en las 2 iteraciones intermedias y el tiempo promedio de reconocimiento en la evaluación final. Los valores que se obtuvieron fueron de 0.943, 0.968, 0.909 y 0.472, respectivamente, en la significancia bilateral. Estos valores son mayores a 0.05, por lo que se considera que los resultados cumplen con la normalidad y es posible aplicar la prueba T de Student para medir que tan significativo fue el aprendizaje después de los ejercicios de enseñanza con tacto digital. Los resultados se muestran en la Tabla 5 e indican que existe una diferencia de medias significativas de 49 segundos entre el tiempo del pre-prueba con la iteración 1, de 73 segundos con la iteración 2, y de 69 segundos con la post-prueba en la prueba de figuras geométricas. Es decir, hubo un cambio significativo después de la intervención porque disminuyó el tiempo de las medias. Así mismo, los valores en las significancias bilaterales son menor que 0.05; por lo tanto, se puede decir que mejoró el conocimiento al disminuir el tiempo significativamente después de la intervención, ya que al ser menor que 0.05 se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_a$ ) que indica que la diferencia es significativa entre las medias de la pre-prueba y las medias de la post-prueba.

**Tabla 5. Comparación de tiempos de la pre-prueba y la post-prueba en la enseñanza de geometría**

Par	Iteración	Diferencias relacionadas				t	gl	*Sig.
		Media	Desviación estándar	95% Intervalo de confianza para la diferencia				
				Inferior	Superior			
1	1	49.95	30.78	17.65	82.26	3.97	5	0.011
2	2	73.33	43.27	27.91	118.74	4.15	5	0.009
3	Post-prueba	69.04	42.52	24.41	113.67	3.97	5	0.011

**Fuente: Elaboración propia a través del programa estadístico PASW Statistics .SPSS**

**\* Prueba T de Student para muestras relacionadas**

En la Tabla 6 se observa el promedio del nivel alcanzado en destreza, calidad y comprensión por parte de las y los participantes antes y después de la enseñanza de geometría.

**Tabla 6. Promedio del nivel alcanzado en destreza, calidad y comprensión, antes y después de la enseñanza de geometría**

Prueba	Pre-prueba						Post-prueba					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
<b>Participante</b>												
<b>Destreza</b>	1	0	0	0	2	2	2	2	2	1.5	2	2
<b>Calidad</b>	0	0	0	0	0	0	2	2	2	1	2	2
<b>Comprensión</b>	0	0	0	0	0	0	2	2	2	1	2	2

2 corresponde a Nivel Logrado, 1 a En Proceso, 0 Nivel No Logrado.

**Fuente: elaboración propia**

En la Tabla 7 se observan los resultados de la prueba no paramétrica binomial en donde se indica el nivel de destreza, calidad y comprensión alcanzado por parte de los participantes. En esta tabla se observa que el porcentaje de participantes que lograron alcanzar el conocimiento en la pre-prueba fue de 4.1% en destreza, y 0.1% en calidad y comprensión. Sin embargo, después de la intervención el 83% de las y los participantes lograron alcanzar el nivel deseado en destreza, calidad y comprensión, y sólo el 16.7% se quedó en proceso de alcanzarlo. Al obtener significancias menores de 0.05, se acepta la  $H_0$ , la cual indica que para la prueba binomial los niveles logrados en la pre-prueba son diferentes a los niveles logrados después del aprendizaje con tacto digital. Por lo anterior, se puede decir que la enseñanza de geometría

por medio de la percepción táctil digital es efectiva al incrementar las capacidades de las personas con ceguera.

**Tabla 7. Prueba binomial del nivel de destreza, calidad y comprensión logrado en la enseñanza de geometría**

Figuras Geométricas	Categoría	N	Antes	Después	Sig.
Destreza Final	Logrado	5	4.1%	83.3%	.000
	En proceso	1		16.7%	
		6		100%	
Calidad Final	Logrado	5	0.1%	83.3%	.000
	En proceso	1		16.7%	
		6		100%	
Comprensión Final	Logrado	5	0.1%	83.3%	.000
	En proceso	1		16.7%	
		6		100%	

**Fuente: Elaboración propia a través del programa estadístico PASW Statistics .SPSS**

## 4.2. TACTO DIFÍCIL: ENSEÑANZA DE ARTE

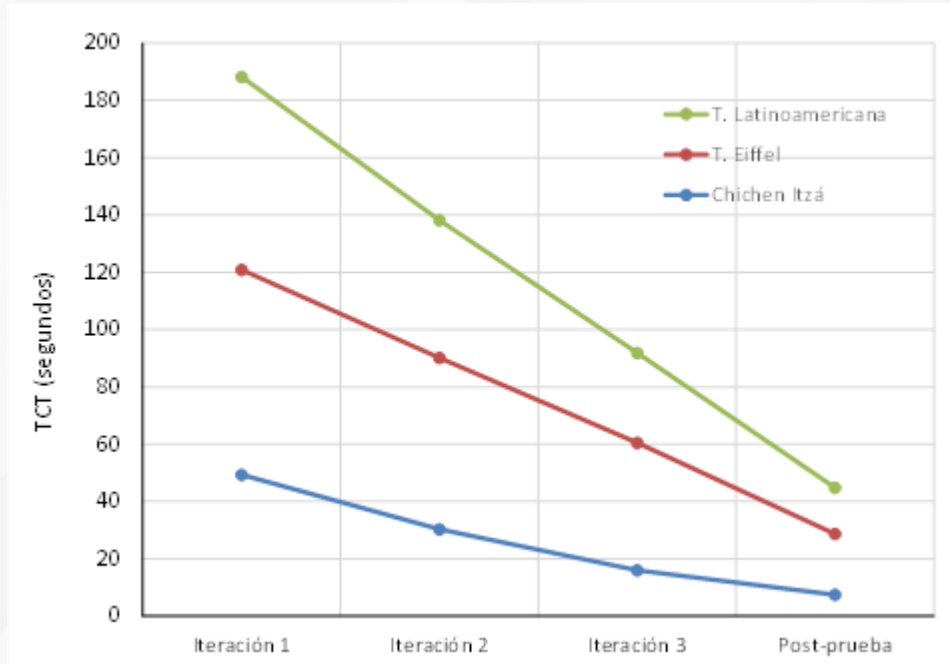
Para identificar si las y los participantes son capaces de reconocer objetos virtuales más complejos en un contexto arquitectónico y sin ningún palpado previo, se les dio un tiempo de familiarización con el entorno virtual de 20 minutos, en el cual se les describía verbalmente el objeto mientras lo exploraban táctilmente, identificando sus características tales como escalones, puertas, columnas o patas. Los objetos presentados fueron el edificio de la Torre Latinoamericana en la Ciudad de México, la Torre Eiffel y la pirámide de Chichen Itzá. Posteriormente se evaluó su nivel de destreza, calidad de reconocimiento y comprensión espacial del entorno virtual explorado. En este caso los estudiantes debían reconocer el objeto virtual indicando cuál de las impresiones 3D correspondía al objeto explorado de forma táctil digital. La Tabla 8 presenta los valores TCT promedio y de desviación estándar (SD) para la pre-prueba y la post-prueba. Las figuras geométricas presentadas están compuestas de prismas rectangulares, y por tal motivo se tomó el tiempo de reconocimiento del cubo virtual como evaluación inicial o pre-prueba. La Figura 9 muestra las curvas de aprendizaje obtenidas a partir de los resultados TCT de la enseñanza de arte. Estos resultados muestran que las y los participantes mejoraron gradualmente sus habilidades, logrando su mejor rendimiento en la post-prueba.

**Tabla 8. Valores TCT promedio en la enseñanza de arte**

Modelo arquitectónico 3D	Promedio TCT (SD) (segundos)			
	Iteración			
	1	2	3	Post-prueba
T. Latinoamericana	67.33 (27.94)	48.00 (18.55)	31.33 (16.43)	16.17 (14.41)
T. Eiffel	71.50 (32.88)	59.83 (37.13)	44.50 (31.70)	21.17 (20.90)
Chichen Itzá	49.33 (12.50)	30.33 (13.46)	16.00 (7.69)	7.50 (3.15)

**Fuente: Elaboración propia a través del programa estadístico PASW Statistics .SPSS**

**Figura 9. Curvas de aprendizaje en el proceso de enseñanza de arte**



Fuente: elaboración propia

A continuación, se aplicó la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov (ver Tabla 9) considerando los valores TCT entre la evaluación inicial de la figura geométrica con complejidad media, «cubo», y la evaluación final de la enseñanza de arte. Los resultados muestran que la diferencia de las medias fue de 34.6 segundos entre la evaluación inicial del cubo y la evaluación final de la Torre Latinoamericana, 29.6 segundos entre la evaluación inicial del cubo y la evaluación final de la Torre Eiffel, y 43.3 segundos entre el tiempo de reconocimiento de la evaluación inicial del cubo y la evaluación final de la Pirámide de Chichen Itzá. Estos resultados indican que el tiempo de las medias disminuye. Por otro lado, los resultados de la prueba de Wilcoxon arrojaron valores en las significancias de 0.046, 0.042 0.028, para el tiempo de reconocimiento final de la Torre Latinoamericana, la Torre Eiffel y la Pirámide de Chichen Itzá, respectivamente. Dichos valores indican que al ser menor que 0.05, se rechaza la  $H_0$  y se acepta la  $H_a$  que indica que la diferencia de los rangos es significativa; es decir, el cambio es significativo porque bajó el tiempo de reconocimiento de los modelos arquitectónicos. Por lo tanto, se puede decir que mejoró el reconocimiento de los modelos después de la enseñanza virtual del arte.

**Tabla 9. Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra en la enseñanza de arte**

	Evaluación inicial cubo	Ev. Final Torre Latinoamericana	Ev. Final Torre Eiffel	Ev. Final Chichen Itzá
N	6	6	6	6
Parámetros normales <sup>a,b</sup>	Media	16.17	21.17	7.50
	Desviación típica	51.168	14.414	20.904
Z de Kolmogorov-Smirnov	1.078	0.555	0.918	0.563
Sig. asintót. (bilateral)	0.196	0.918	0.369	0.909

a. La distribución de contraste es la Normal, b. Se han calculado a partir de los datos.

Fuente: Elaboración propia a través del programa estadístico PASW Statistics. SPSS

Los valores obtenidos respecto al nivel de destreza, calidad de reconocimiento y comprensión espacial se midieron después de la enseñanza con tacto digital y se muestran en la Tabla 10. El valor 0 corresponde al nivel no logrado, el nivel 1 al nivel en proceso y el 2 al nivel logrado.

**Tabla 10. Promedio del nivel alcanzado en destreza, calidad y comprensión, antes y después de la enseñanza de arte con tacto digital**

Prueba	Pre-prueba						Post-prueba					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Participante	1	0	0	0	2	2	2	2	1.5	2	2	2
Destreza	1	0	0	0	2	2	2	2	1.5	2	2	2
Calidad	0	0	0	0	0	0	2	2	1	2	2	2
Comprensión	0	0	0	0	0	0	2	2	1	2	2	2

2 corresponde a Nivel Logrado, 1 a En Proceso, 0 Nivel No Logrado.

**Fuente: Directa; hojas de cotejo**

En la Tabla 11 se observan los resultados de la Prueba no paramétrica binomial en donde se indica el nivel de destreza, calidad y comprensión alcanzado por parte de las y los participantes. Se observa que el porcentaje de participantes que lograron alcanzar el conocimiento en la pre-prueba fue de 4.1% en destreza y 0.1% en calidad y comprensión. Sin embargo, después de la intervención el 83.3% logró alcanzar el nivel deseado en destreza, calidad y comprensión, y sólo el 16.6% se quedó en el proceso de alcanzarlo. Al obtener significancias menores de 0.05 se acepta la  $H_0$ , la cual indica que los niveles de destreza, calidad y comprensión en la pre-prueba son diferentes a los niveles logrados después de la enseñanza con tacto digital. Por lo anterior, se puede decir que la enseñanza de arte por medio de la percepción táctil digital es efectiva al incrementar las capacidades de las personas con ceguera.

**Tabla 11. Prueba binomial en la enseñanza de arte**

Enseñanza de arte	Categoría	N	Antes	Después	Sig. exacta (unilateral)
Destreza Final	Logrado	5	4.1%	83.3%	0.000
	En proceso	1		16.6%	
	Total	6		100%	
Calidad Final	Logrado	5	0.1%	83.3%	0.000
	En proceso	1		16.6%	
	Total	6		100%	
Comprensión Final	Logrado	5	0.1%	83.3%	0.000
	En proceso	1		16.6%	
	Total	6		100%	

**Fuente: Elaboración propia a través del programa estadístico PASW Statistics .SPSS**

### 4.3. PERCEPCIÓN DEL APRENDIZAJE CON TACTO DIGITAL

Los resultados de la evaluación del sistema de aprendizaje con tacto digital por parte de las niñas y los niños participantes se muestran en la Tabla 12. El puntaje general del sistema fue 6.6/7, lo que indica una gran aceptabilidad. Quienes participaron se mostraron muy positivos y entusiasmados con el enfoque propuesto, específicamente porque podían tocar y sentir objetos virtuales. De hecho, la mayoría de las y los participantes mencionaban estar impresionados, así como no poder creer que estuvieran tocando y sintiendo objetos virtuales. En algunas ocasiones trataron de tocar debajo del dispositivo háptico en busca de objetos físicos.

**Tabla 12. Resultados de percepción y evaluación de los/as usuarios/as**

Percepción	Participante						Promedio
	1	2	3	4	5	6	
Alegría	7	7	7	7	7	7	7
Cansancio	7	4	7	5	7	7	6.1
Utilidad	7	7	4	6	7	7	6.3
Accesibilidad	7	5	5	7	7	7	6.3
Aprendizaje	7	6	7	6	7	7	6.6
Uso potencial	6	6	7	6	7	7	6.5
Didáctico	7	7	7	7	7	7	7
Facilidad	7	7	7	7	7	7	7
<b>Average score</b>	6.9	6.1	6.4	6.4	7	7	<b>6.6</b>

Fuente: elaboración propia

## 5. DISCUSIÓN

En el proceso de enseñanza-aprendizaje de personas con discapacidad visual, generalmente los significados y situaciones o entornos educativos digitales no son adecuados para conducir a un correcto aprendizaje, ya que muchas de estas situaciones y entornos educativos están basados en representaciones visuales. Los resultados del presente trabajo de investigación han demostrado que los sistemas de percepción táctil por computadora, pueden usarse como tecnologías de asistencia educativa para personas con discapacidad visual, ya que son eficaces y factibles para adquirir conocimiento.

Respecto al nivel de destreza y calidad del aprendizaje de las y los participantes en la prueba de tacto fácil, los resultados del conocimiento obtenido reflejan que después del período de aprendizaje con tacto digital las niñas y los niños pudieron reconocer las cuatro formas tridimensionales correctamente, demostrando que el conocimiento aumenta sustancialmente. No sólo el conocimiento aumenta, sino que el tiempo de reconocimiento disminuye a medida que culmina cada iteración. En otras palabras, el rendimiento de reconocer objetos virtuales aumenta con la práctica. Esta mejora gradual del rendimiento se debe al aprendizaje natural, cuanto más se practica más rápido se aprende. Por lo tanto, se puede decir que la herramienta virtual de aprendizaje con tacto digital permite que el estudiantado mejore sus habilidades de

reconocimiento geométrico sin importar que las superficies sean planas, redondas o mixtas. También es posible pasar de las formas de baja complejidad a las de mediana complejidad, hasta alcanzar el reconocimiento deseado en las formas de alta complejidad.

Por otro lado, los resultados de las pruebas de tacto difícil comprobaron la calidad del conocimiento adquirido, ya que los participantes fueron capaces de llamar por su nombre a cada edificio arquitectónico, incluyendo sus partes, tales como escalones, puertas, columnas o patas. Esto es un hallazgo que permite observar que el rendimiento de reconocer objetos virtuales aumenta con la práctica. Pero también es un indicativo de que la complejidad geométrica puede ser reconocida con tiempos cada vez menores y que el conocimiento mejora con cada iteración.

El identificar que los niveles de destreza, calidad y comprensión espacial antes de la intervención fueron menores a los niveles adquiridos después de la intervención, y que entre más practicaban los usuarios no sólo estos niveles aumentaban sino que era posible aumentar la complejidad de las formas tridimensionales, demuestra que es posible generar una representación mental a partir de la percepción táctil de cualquier objeto compuesto por diferentes formas geométricas. Adicionalmente, los resultados de la percepción y evaluación por parte de las y los participantes sobre el uso de sistemas de percepción táctil por computadora demuestran que el aprendizaje con tacto digital es percibido como una buena estrategia de asistencia educativa para personas con discapacidad visual.

## 6. CONCLUSIONES

En este trabajo de investigación se ha propuesto y evaluado el uso de la percepción táctil por computadora como una estrategia de comunicación educativa para personas con discapacidad visual. Los resultados demuestran que el tacto digital es una herramienta tecnológica factible y eficaz para la enseñanza de personas con discapacidad visual. A través del tacto digital las personas con ceguera pueden adquirir conocimientos y mejorar sus competencias definidas en los planes formativos curriculares. Se ha demostrado que la combinación de tecnologías hápticas y de realidad virtual permite al estudiantado con discapacidad visual, sentir, tocar y reconocer objetos virtuales de complejidad geométrica variable; incluyendo formas que por sus características requieren del uso del sentido de la vista o del uso de maquetas de gran tamaño, como lo son monumentos, zonas arqueológicas, museos o recintos culturales. Además, el uso regular de la percepción táctil digital ayuda a mejorar la capacidad y el rendimiento para reconocer objetos virtuales de las personas con ceguera. Como trabajo futuro se contempla aumentar el número de participantes e incluir otros temas educativos en áreas como las ciencias y las artes, incluyendo objetos virtuales más avanzados y complejos.

## 7. REFERENCIAS

- Baumgartner, E., Christiane, B., Wiebel, C. B. & Gegenfurtner, K. R. (2015). A comparison of haptic material perception in blind and sighted individuals. *Vision Research* 115, 238–245.
- Darrah, M. A. (2013). Computer haptics: A new way of increasing access and understanding of math and science for students who are blind and visually impaired. *Journal of Blindness Innovation and Research*, 3(2), 3-47. <http://dx.doi.org/10.5241/3-47>
- Espinosa-Castañeda, R. & Medellín-Castillo, H. I. (2014). Análisis y evaluación de la generación de iconos mentales en personas invidentes a partir de la percepción virtual táctil utilizando realidad virtual y sistemas hápticos. *Revista ICONO14. Revista de estudios de comunicación y tecnologías emergentes*, 2 (12), 295-317. <https://doi.org/10.7195/ri14.v12i2.695>
- Gomez, J. V. & Sandnes, F. E. (2012). RoboGuideDog: Guiding blind users through physical environments with laser range scanners. *Procedia Computer Science*, 14, 218–225. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2012.10.025>
- Hardwick, A., Furner, S. & Rush, J. (1998). Tactile display of virtual reality from the World Wide Web method for blind people. *Displays* 18, 153-161. [https://doi.org/10.1016/S0141-9382\(98\)00016-X](https://doi.org/10.1016/S0141-9382(98)00016-X)
- Intraub H. (2004) Anticipatory spatial representation of 3D regions explored by sighted observers and a deaf-and-blind-observer. *Cognition* (94), 19–37.
- Intraub, H. (2014). Visual scene representation: A spatial-cognitive perspective. In K. Kveraga & M. Bar (Eds.), *Scene vision: Making sense of what we see* (pp. 5-26). The MIT Press.
- Konstantinos, P., Panagiotis, K., Eleni, K., Marina, M., Asimis, V. & Valari, E. (2015). Audio-Haptic Map: An Orientation and Mobility Aid for Individuals with Blindness. *Procedia Computer Science*, 67, 223–230. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.09.266>
- Koukourikos, P. & Papadopoulos, K. (2015). Development of Cognitive Maps by Individuals with Blindness Using a Multisensory Application. *Procedia Computer Science*, 67, 213–222. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.09.265>
- Lahav, O. & Mioduser, D. (2008a). Construction of cognitive maps of unknown spaces using a multisensory virtual environment for people who are blind. *Computers in Human Behavior*, 24(3), 1139–1155. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2007.04.003>
- Lahav, O., & Mioduser, D. (2008b). Haptic-feedback support for cognitive mapping of unknown spaces by people who are blind. *International Journal of Human-Computer Studies*, 66(1), 23–35. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2007.08.001>
- Lahav, O., Schloerb, D., Kumar, S. and Srinivasan, M. (2012), "A virtual environment for people who are blind – a usability study", *Journal of Assistive Technologies*, 6(1), 38-52. <https://doi.org/10.1108/17549451211214346>
- Lahav, O., Hagaba, N., Kadera, S.A.E., Levyb, S.T. & Talis V. (2018) "Listen to the models: Sonified learning models for people who are Blind". *Computers & Education* 127, 141–153.



Macchelli, A., Melchiorri, C. & Arduini, D. (2000). Real-time Linux control of haptic interface for visually impaired persons. *IFAC Proceedings*. Robot Control. Vienna, Austria.

Medellín-Castillo, H.I., González-Badillo, G., Govea, E., Espinosa-Castañeda, R. & Gallegos, E. (2015). "Development of Haptic-Enabled Virtual Reality Applications for Engineering, Medicine and Art," in *ASME 2015 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. Systems, Design, and Complexity*. Houston, Texas, USA, 2015. <https://doi.org/10.1115/IMECE2015-52770>

Medellín-Castillo, H. I., Zaragoza-Siqueiros, J., Govea-Valladares, E. H., Ritchie, J., Lim, T. and Sivanathan, A. (2020). Chapter 7: Virtual Reality Applications for Computer Aided Design and Advanced Manufacture of Medical Devices. *Volume 3: Augmented, Virtual and Mixed Reality Applications in Advanced Manufacturing. Manufacturing in the Era of 4th Industrial Revolution*. (pp 179-212) World Scientific Publishing Company. Singapore. [https://doi.org/10.1142/9789811222863\\_0007](https://doi.org/10.1142/9789811222863_0007)

Minogue, J. and Jones, M.G. (2006). Haptics in education: Exploring an untapped sensory modality. *Review of Educational Research*, 76(3), 317-348. <https://doi.org/10.3102/00346543076003317>

Panëels, S. A., Ritsos, P. D., Rodgers, P. J., & Roberts, J. C. (2013). Prototyping 3D haptic data visualizations. *Computers & Graphics*, 37(3), 179–192. <https://doi.org/10.1016/j.cag.2013.01.009>

Sánchez, J. (2012). Development of navigation skills through audio haptic videogaming in learners who are blind. *Procedia Computer Science*, 14, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2012.10.012>

SEP (2012). *Educación pertinente e inclusiva. La discapacidad en educación indígena. Guía-Cuaderno 5: Atención educativa de alumnos y alumnas con discapacidad visual*. Secretaría de Educación Pública. México. Disponible en: [https://www.educacionespecial.sep.gob.mx/2016/pdf/discapacidad/Documentos/Atencion\\_educativa/Visual/3Discapacidad\\_Visual.pdf](https://www.educacionespecial.sep.gob.mx/2016/pdf/discapacidad/Documentos/Atencion_educativa/Visual/3Discapacidad_Visual.pdf)

Secretaría de Educación Pública (12 de enero de 2022). *Planes y programas de estudio. Matemáticas, primaria 5o*. <https://www.planyprogramasdestudio.sep.gob.mx/prim-ae-pensamiento-mate5.html>

West, R. & Turner, L.H. (2004). *Teoría de la Comunicación: Análisis y Aplicación*. Mc Graw Hill.

Yin, R. K. (2003). *Case Study Research: Design and Methods, Applied Social Research Methods Series, 5, 3th ed*. Sage Publications.