

Maquetas hápticas en 3D para niños con discapacidad visual.

Un acercamiento a la ciudad histórica^[1]

3D haptic models for children with visual impairment.

An approach to the historic city

Modelos hápticos 3D para crianças com deficiência visual.

Uma abordagem para a cidade histórica

Modèles haptiques en 3D pour les enfants malvoyants.

Une approche de la ville historique

▲ **Fotografía:** autoría propia

Recibido: 19/08/2019
Aprobado: 21/10/2019

Cómo citar este artículo:

HERNÁNDEZ SÁNCHEZ, A., et al. (2020). "Maquetas hápticas en 3D para niños con discapacidad visual. Un acercamiento a la ciudad histórica". *Bitácora Urbano Territorial*, 30 (II): 47-60. 10.15446/bitacora.v30n2.81771

Autores

Adriana Hernández Sánchez

Doctora en Espacio Público y Regeneración Urbana y Conservación del Patrimonio
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

adriana.hernandezsanchez@correo.buap.mx
<https://orcid.org/0000-0001-6305-3255>

Jesús Manuel Mejía Sánchez

Estudiante de Arquitectura
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

jesus.mejias@alumno.buap.mx
<https://orcid.org/0000-0002-0294-8079>

Christian Enrique de la Torre Sánchez

Estudiante de Doctorado en Procesos Territoriales
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

christian.delatorre@correo.buap.mx
<https://orcid.org/0000-0002-7456-746X>

Luis Gerardo Córdova Moreno

Estudiante de Diseño Gráfico
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

luis.cordovam@alumno.buap.mx
<https://orcid.org/0000-0002-2688-8226>

[1] Investigación financiada por el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Puebla (CONCYTEP), a través del Programa de Estímulos a la Investigación para Doctoras y Doctores, 2018.

Resumen

La línea de investigación Espacio Público, Participación Ciudadana y Centro Histórico de la Facultad de Arquitectura de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (FABUAP) ha realizado proyectos de accesibilidad e inclusión social en los ámbitos urbano y arquitectónico, partiendo del reconocimiento de la diversidad y el fomento de la participación ciudadana. En este artículo se presenta la experiencia de elaboración, evaluación e impresión de dos maquetas hápticas impresas en tecnología digital 3D, las cuales tenían dos propósitos: promover la accesibilidad al patrimonio urbano y arquitectónico del centro histórico de la ciudad de Puebla, México, entre niños con ceguera y debilidad visual y servir en la enseñanza de la movilidad autónoma de los menores.

Palabras clave: maquetas hápticas, infancia, discapacidad visual, patrimonio cultural, Puebla.

Autores

Adriana Hernández Sánchez

Arquitecta, Maestra en Diseño Arquitectónico (Universidad Nacional Autónoma de México) y Doctora en Espacio Público y Regeneración Urbana y Conservación del Patrimonio (Universitat de Barcelona). Profesora Investigadora de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Investigadora Asociada del “Public Art and Urban Design Observatory” (PAUDO-Universitat de Barcelona), miembro de ICOMOS México y del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Sus líneas de investigación incluyen el estudio del espacio público, la participación ciudadana y el centro histórico.

Jesús Manuel Mejía Sánchez

Estudiante de Arquitectura (Benemérita Universidad Autónoma de Puebla). Participó en el proyecto “Reconstrucción de la escuela primaria Aquiles Serdán”, luego del sismo del 19 de septiembre de 2017. Como miembro de Re Genera Espacio ha participado en los siguientes proyectos: “World Heritage Volunteers. Taller Barrial de Artes y Oficios” (2018), “Casa Analco” (2018) y “Maquetas táctiles para niños ciegos y débiles visuales. Estrategias para el desarrollo infantil, un acercamiento al patrimonio” (2018-2019).

Christian Enrique de la Torre Sánchez

Arquitecto, Maestro en Conservación del Patrimonio Edificado y estudiante de Doctorado en Procesos Territoriales (Benemérita Universidad Autónoma de Puebla). Becario CONACYT 2016-2020. Ha realizado proyectos e intervenciones de accesibilidad e inclusión social en centros históricos. Coordinador de proyectos de patrimonio de Re Genera Espacio y miembro de la Design for All Foundation.

Luis Gerardo Córdova Moreno

Estudiante de Diseño Gráfico en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y practicante en el Departamento de Tecnologías 3D de la Facultad de Arquitectura de la misma institución. Trabaja en proyectos que requieren diseño gráfico, modelado e impresión 3D. Sus trabajos de diseño más destacados son: Fuente tipográfica Uriarte (2017), figurillas Funkos BUAP y carteles oficiales de los cortometrajes Darling y Cataclysm y Plenilunio (2018).

Abstract

The Public Space, Citizen Participation and Historic Center research line of the Faculty of Architecture of the Benemérita Autonomous University of Puebla (FABUAP) has carried out projects of accessibility and social inclusion in the urban and architectural fields, based on the recognition of diversity and promotion of citizen participation. The article presents its experience of elaboration, evaluation and printing of two haptic models printed in 3D digital technology, which had two purposes: to promote the accessibility to the urban and architectural heritage of the historic center of the city of Puebla, Mexico, among children with blindness and visual weakness and serve in the teaching of the autonomous mobility of minors.

Keywords: haptic models, childhood, visual impairment, cultural heritage, Puebla.

Résumé

La ligne de recherche Espace public, Participation Citoyenne et Centre Historique de la Faculté d'Architecture de l'Université Autonome Benemérita de Puebla (FABUAP) a réalisé des projets d'accessibilité et d'inclusion sociale dans les domaines urbain et architectural, basés sur la reconnaissance de la diversité et promotion de la participation citoyenne. Cet article présente l'expérience d'élaboration, d'évaluation et d'impression de deux modèles haptiques imprimés en technologie numérique 3D, qui avaient deux objectifs : promouvoir l'accessibilité au patrimoine urbain et architectural du centre historique de la ville de Puebla, au Mexique, chez les enfants avec cécité et faiblesse visuelle et servent à l'enseignement de la mobilité autonome des mineurs.

Mots-clés: modèles haptiques, enfance, déficience visuelle, patrimoine culturel, Puebla

Resumo

A linha de pesquisa Espaço Público, Participação do Cidadão e Centro Histórico da Faculdade de Arquitetura da Universidade Autónoma Benemérita de Puebla (FABUAP) realizou projetos de acessibilidade e inclusão social nos campos urbanos e arquitetônicos, com base no reconhecimento da diversidade e promoção da participação cidadã. Este artigo apresenta a experiência de elaboração, avaliação e impressão de dois modelos hápticos impressos em tecnologia digital 3D, com dois objetivos: promover a acessibilidade ao patrimônio urbano e arquitetônico do centro histórico da cidade de Puebla, México, entre crianças com cegueira e fraqueza visual e servem no ensino da mobilidade autônoma de menores.

Palavras-chave: modelos hápticos, infância, deficiência visual, patrimônio cultural, Puebla.



Maquetas hápticas en 3D para niños con discapacidad visual.
Un acercamiento a la ciudad histórica

Introducción

Los ciegos y débiles visuales tienen opciones limitadas o inexistentes para conocer el patrimonio debido a que la difusión se basa únicamente en la lectura y la apreciación visual.

El objetivo del proyecto “Maquetas hápticas en 3D para niños con discapacidad visual. Un acercamiento a la ciudad histórica” es difundir el patrimonio urbano y arquitectónico a niños con ceguera y debilidad visual mediante maquetas impresas en tecnología 3D de espacios representativos del centro histórico de Puebla, México.

Desde 2012, la línea de investigación Espacio Público, Participación Ciudadana y Centro Histórico de la Facultad de Arquitectura de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (FABUAP) ha realizado proyectos de accesibilidad e inclusión social en los ámbitos urbano y arquitectónico, partiendo del reconocimiento de la diversidad y el fomento de la participación ciudadana.

En conjunto con el grupo Re Genera Espacio ha realizado proyectos de mejoramiento de las condiciones de accesibilidad física en entornos patrimoniales, como el denominado “Accesibilidad en el patrimonio religioso del Centro Histórico de la ciudad de Puebla”, el cual incorporó rampas, guías podotáctiles, renivelación de escalones y bordes en los accesos en dichas edificaciones. La iniciativa se realizó por invitación del Ayuntamiento de Puebla y con el apoyo económico del gobierno de Santiago de Chile. En 2017, el proyecto fue reconocido como una de las mejores prácticas en accesibilidad a nivel internacional por la Design for All Foundation, reforzando la importancia que este tipo de iniciativas tienen en la mejora de la calidad de vida de los centros históricos y las ciudades, así como de sus grupos vulnerables, como es el caso de las personas con discapacidad y los ancianos.

A partir de 2018, la línea de investigación trabaja con niños y adolescentes en la creación de herramientas alternativas para mejorar el aprendizaje de la movilidad y la comprensión espacial en los niveles urbano y arquitectónico, en particular en edades entre los 6 y los 12. Al mismo tiempo, busca enseñarles a valorar el patrimonio arquitectónico y artístico de ciudades históricas como Puebla, ya que es desconocido por la mayoría de las personas con discapacidad. Los ciegos y débiles visuales tienen opciones limitadas o inexistentes para conocer el patrimonio debido a que la difusión se basa únicamente en la lectura y la apreciación visual.

El objetivo del proyecto “Maquetas hápticas en 3D para niños con discapacidad visual. Un acercamiento a la ciudad histórica” es difundir el patrimonio urbano y arquitectónico a niños con ceguera y debilidad visual mediante maquetas impresas en tecnología 3D de espacios representativos del centro histórico de Puebla,^[2] México. Para ello, se elaboraron dos elementos tridimensionales: 1) un plano cartesiano de 90 manzanas del centro histórico de la ciudad, elaborado con ayuda del Laboratorio de Tecnologías 3D de la FABUAP y 2) una maqueta del templo de San Antonio, impresa en colaboración con el FabLab Puebla. Ambos fueron sometidas a diferentes pruebas táctiles por parte de niños con ceguera y debilidad visual, destacando la escala, el volumen y las texturas para identificar con mayor facilidad detalles, espacios, elementos arquitectónicos y decorativos que solo son apreciados de manera visual. A nivel urbano, se pretende comprender mejor las condiciones de accesibilidad

[2] El centro histórico de la ciudad de Puebla forma parte de una zona de monumentos históricos de 6.9 km² y comprende a la ciudad fundacional, tanto el primer cuadro español como los barrios indígenas. El 11 de diciembre de 1987 fue declarado Patrimonio Cultural de la Humanidad por la UNESCO.

en los probables trayectos que los niños pudieran realizar, acompañados o solos, por el centro de la ciudad de Puebla.

En este artículo, después de la presentación de los antecedentes y el objetivo del proyecto, se menciona la situación general de las personas con discapacidad visual que viven en México y las condiciones de inaccesibilidad que padecen en lo que respecta a la movilidad y reconocimiento del patrimonio, además de la insuficiencia de elementos técnicos que los ayuden en sus actividades cotidianas y búsqueda de autonomía. Posteriormente, se presentan algunos casos novedosos e interesantes de difusión del patrimonio para personas con ceguera y discapacidad visual, como las herramientas lúdicas de Braille Bricks (Noruega) o las estrategias de accesibilidad de museos como Vilamuseu (España) y Tatile Omero (Italia). El cuerpo principal de la investigación está en la descripción del proceso de elaboración de las maquetas táctiles, el cual incluye las siguientes etapas: registro urbano o arquitectónico de los elementos a reproducir, digitalización, modelado tridimensional, pruebas de impresión en tecnología 3D y los sucesivos procesos de impresión, evaluación por parte de los niños (incluyendo las recomendaciones de sus profesores de educación especial), modificaciones en el modelado y nueva impresión. En la sección final se discuten los resultados del caso y las potencialidades que tienen las maquetas táctiles como elementos de difusión del patrimonio para sectores más amplios, no solo personas con discapacidad visual y como elementos auxiliares para la enseñanza de la movilidad autónoma de los niños.

Discapacidad visual e insuficiencia de elementos auxiliares táctiles en México

Según datos del Censo Nacional de Población y Vivienda 2010, el 6.4% de la población mexicana (7.65 millones de personas) reportó tener al menos una discapacidad, siendo las principales la discapacidad motriz (56.1%), visual (32.7%) y auditiva (18.3%) (Secretaría de Desarrollo Social, 2016).

En el país, existen 2.5 millones de personas con alguna discapacidad visual, incluyendo la ceguera. Dentro de este grupo, el 63.5% no utiliza algún tipo de ayuda técnica, por lo que sus condiciones de autonomía y movilidad son limitadas, generando una condición de dependencia mayor. Solo el 12.2% uti-

liza el bastón guiador, 4.6% el sistema Braille, 1.6% una computadora de audio y el 18.1% recurre a otro elemento auxiliar de comunicación o desplazamiento (Secretaría de Desarrollo Social, 2016).

La discapacidad visual es diversa, incluye a personas con ceguera y debilidad visual congénita o derivada de un accidente o enfermedad.^[3] Dadas estas diferencias, el diseño de elementos de apoyo, como las maquetas táctiles, requiere de una valoración más amplia de los tipos de usuarios y las posibilidades de construcción mental de los objetos a partir de la preexistencia o no de referencias visuales.

En el caso de las personas ciegas de nacimiento o que perdieron la vista a una edad temprana, la carencia de referentes visuales se sustituye por las que suministran el resto de los sentidos. Es probable que utilicen el Braille como sistema de lectoescritura principal y, en la medida de sus posibilidades, lo complementen con las distintas posibilidades que ofrecen las tecnologías de acceso a la información basadas en archivos sonoros. En el caso de quienes perdieron la vista a una edad no temprana, “se apoyan intelectualmente en las referencias visuales que adquirieron, y por tanto entienden las indicaciones sobre colores, composición gráfica” (Consuegra Cano, et al., 2013: 93).

Enfermedades como la diabetes mellitus tipo 2, por ejemplo, están incidiendo en el incremento de padecimientos con afectaciones en la vista, como la retinopatía, que pueden derivar en ceguera. En México son comunes las historias que hablan de algún familiar que ha quedado ciego a causa de este padecimiento y los problemas de adaptación cuando las actividades cotidianas dependen de la ayuda de otras personas y la percepción de los objetos depende de los sentidos del tacto y el oído.^[4]

En el tacto normalmente usan las dos manos: una permanece más estática para sujetar el objeto y dar una referencia fija, y la otra es más activa. Sus movimientos son amplios para obtener una idea de conjunto y leves para reconocer los detalles. Al contrario que la percepción visual, más global, la percepción táctil es secuen-

[3] Purificación Ortiz propone la siguiente clasificación de repercusiones en el funcionamiento visual según las patologías: pérdida de campo visual central (con escotoma central), pérdida de campo visual periférico, reducción concéntrica, visión borrosa sin alteraciones en el campo visual y alteraciones en la percepción de colores (Consuegra Cano, et al., 2013).

[4] En México existen más de doce millones de pacientes con diabetes, de los cuales, casi 350.000 (3%) padecen ceguera por esta causa. “De acuerdo con la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (Ensanut) 2016, las personas con diagnóstico previo de diabetes reportaron como principales complicaciones de su enfermedad visión disminuida, daño en retina y pérdida de vista” (Mundo Espejel, 2019).

cia, parcelada, de modo que ofrece informaciones fragmentarias con las que el visitante realiza un proceso de reconstrucción mental, y por tanto requieren su tiempo (Consuegra Cano, et al., 2013: 95).

Por otra parte, la mayor parte de las personas legalmente ciegas “conserva un resto de visión útil, que suelen aprovechar al máximo, según los casos, para distinguir luces, formas y colores; para orientarse y desplazarse” (Consuegra Cano, et al., 2013: 93). Por ese motivo, en el diseño de elementos táctiles también se considera el color y otros factores asociados como el tipo de acabado o el brillo de los materiales.

Teniendo en cuenta lo anterior, las maquetas son una herramienta muy eficaz “para la transmisión de múltiples conocimientos y conceptos” (Consuegra Cano, 2013: 111) y, aunque la ciudad de Puebla cuenta con maquetas monumentales,^[5] se trata de elementos contemplativos con fines turísticos, inaccesibles y sin función háptica. Por eso, dichos elementos se pensaron en el marco de esta investigación con la intención de contribuir a mejorar la movilidad y autonomía de las personas con ceguera y debilidad visual, así como la apreciación del entorno y los espacios construidos, abiertos y cerrados, además de difundir el patrimonio artístico y arquitectónico de Puebla.

Las maquetas impresas como herramienta de aprendizaje

A nivel internacional existen diversas iniciativas donde las maquetas impresas con tecnología 3D proponen un mejor acercamiento al espacio urbano y arquitectónico a personas con alguna discapacidad visual.

En 2011, la Asociación Danesa de Ciegos planteó una idea de ladrillos con letras y números en sistema Braille que permitieran a niños con discapacidad visual la lectura a través del tacto. La Fundación Dorina Nowill creó su propia versión en Brasil (2017) y en 2019 la empresa LEGO refinó el concepto y empezó a probarlo en Reino Unido y Noruega por medio del proyecto “Braille Bricks” (Álvarez, 2019).

[5] En 1993 se ubicó en la entrada del Palacio de Gobierno Municipal una traza de la ciudad antigua en bronce fundido. En 2017 se instalaron 30 maquetas de edificios históricos y contemporáneos representativos de diversas partes del mundo en el denominado Paseo de Gigantes, a las afueras de la ciudad.

En Argentina, la empresa IN Planos Hápticos elabora modelos urbanos y arquitectónicos con dimensiones máximas de 60 x 100 cm, utilizando materiales plásticos y diferenciando texturas y colores para representar extensiones considerables del territorio. Además, incorpora recorridos, contadores de pasos y simbología en sistema Braille, porque, como mencionan en su página de Facebook, busca la lectura para personas con discapacidad visual, pero también la accesibilidad para todos.

En lo que respecta a temas patrimoniales, el arqueólogo español Néstor F. Marqués desarrolla desde hace varios años trabajos impresos de gran calidad para museos, en los cuales prioriza el realismo de los elementos arquitectónicos en diversas escalas. En uno de sus proyectos más recientes, la Iglesia de Santa María del Melque (Toledo, España), menciona:

gracias a la impresión 3D trasladamos los datos fotogramétricos a la máquina cartesiana que, en un trabajo de más de 10 horas, recreó con todo lujo de detalle la iglesia. De este modo hemos conseguido hacerla más accesible a cualquier persona a través del tacto, especialmente a los invidentes (sic), que pueden sentir el patrimonio con sus manos, algo que de otra forma sería imposible con una estructura de esta magnitud (Marqués, s.f.).

El museo Vilamuseu (Villajoyosa, España) es uno de los principales referentes internacionales de accesibilidad en espacios culturales. Allí se pueden tocar muchas piezas originales, réplicas y maquetas impresas en 3D, hay elementos de accesibilidad aumentada e instrumentos donde es posible oler los aromas reales de objetos del pasado. Los textos están escritos en lengua de signos española y en audio descripción subtitulada para personas sordas y con discapacidad auditiva y visual en una guía multimedia fácil de usar, accesible y gratuita (Vilamuseu, s.f.).

Otro referente importante a nivel internacional es el museo Tattile Statale Omero (Ancona, Italia), considerado un modelo de excelencia en el escenario de oportunidades culturales para personas ciegas y débiles visuales, “un centro de capacitación e investigación, un laboratorio permanente para la mejora y el uso de la obra de arte”, que promueve exposiciones táctiles de importancia nacional e internacional, como afirma su página de Facebook. Al igual que el Vilamuseu, plantea que las maquetas táctiles deben ser lo más fieles posible a la realidad ya que la precisión de los detalles es muy importante en el momento de tocar los elementos de la obra artística.

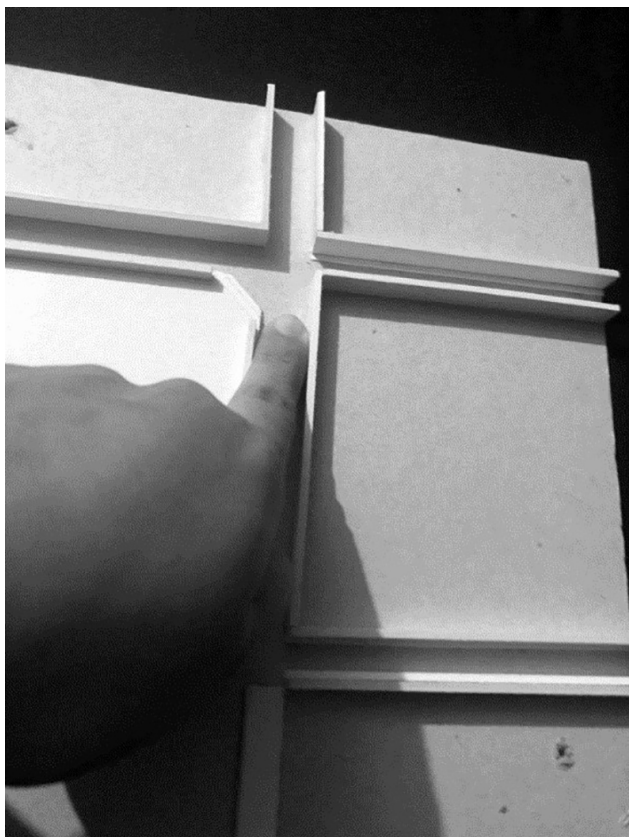


Imagen 1. Prueba de digitación en maqueta de papel
Fotografía de Adriana Hernández Sánchez.

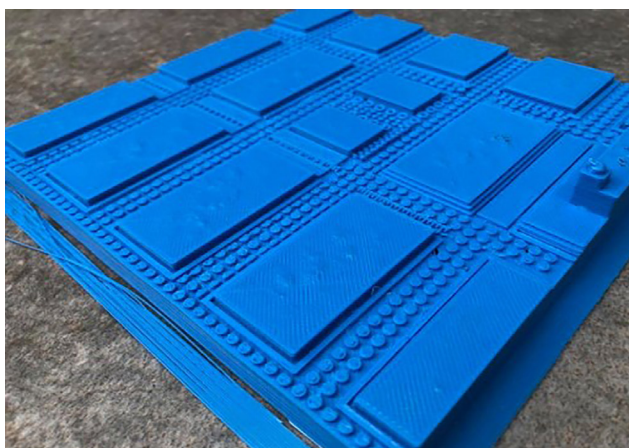


Imagen 2. Primera impresión de maqueta en tono azul, con volumetría en manzanas y diferencia de textura en calles vehiculares y peatonales
Fotografía de Adriana Hernández Sánchez.

Maqueta Plano Cartesiano

En 2018, el equipo de la línea de investigación Espacio Público, Participación Ciudadana y Centro Histórico de la FABUAP, en colaboración con el grupo Re Genera Espacio, realizó maquetas de papel de la traza



Imagen 3. Primeras pruebas de la maqueta táctil con niños de la Asociación Leyer's de Puebla
Fotografía de Adriana Hernández Sánchez.

urbana del primer cuadro del centro de la ciudad de Puebla para determinar las dimensiones a escala de las manzanas y calles, considerando que fueran distinguibles al tacto con los dedos de las manos (Imagen 1).^[6]

Posteriormente, se realizaron las primeras impresiones en tecnología 3D, haciendo uso del software de modelado Rhinoceros. Se determinó un área máxima de impresión de 20 x 20 cm por placa, considerando las condiciones de las impresoras disponibles en Puebla. Esto, con la intención de que cada una representara cierto número de manzanas del centro histórico de la ciudad. En total, se imprimieron dieciocho placas ensamblables de prueba.^[7]

Era indispensable que los elementos de la maqueta se concibieran como de fácil lectura táctil y que, a través de la digitación, los niños pudieran identificar calles y avenidas, además de texturas y referencias de dimensiones en largo, ancho y espesor. Para la impresión de los modelos se adquirieron materiales de tres tonalidades diferentes^[8] y se realizaron pruebas con

[6] Estas maquetas fueron realizadas por los estudiantes de arquitectura de la BUAP e integrantes de Re Genera Espacio, Alejandro Merino Rosario y Jesús Manuel Mejía Sánchez.

[7] Proyecto financiado por el Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología de Puebla (CONCYTEP), como parte del Programa de Estímulos a la Investigación para Doctoras y Doctores 2018.

[8] En este caso se utilizaron los siguientes filamentos: 1) PLA/1.75 mm SKY Blue; 2) PLA/PHA 1.75 mm DUTCH Orange; y 3) PLA/PHA 1.75 mm Fluorescent Gree.

los niños de la Asociación Leyer's de Puebla^[9] para conocer las diferencias de apreciación según diversos colores y texturas (Imágenes 2 y 3).

En la primera impresión se representaron manzanas y calles del primer cuadro de la ciudad con una diferencia en las texturas.^[10] A partir de la evaluación con niños de la Asociación Leyer's de Puebla, su director hizo algunas recomendaciones importantes: marcar obstáculos como mobiliario urbano, indicar la existencia o no de banquetas y la presencia de árboles en calles peatonales, entre otros peligros posibles que una persona con ceguera o debilidad visual enfrenta a la hora de caminar con bastón guía en las calles de la ciudad.

En la siguiente impresión se enfatizaron elementos importantes como la plaza principal, conocida como zócalo y los portales de alrededor, en una representación combinada de alzado y planta, así como las calles peatonales y vehiculares, los senderos y los obstáculos como macetones y mobiliario urbano.

Después de la evaluación realizada por los alumnos y profesores de Leyer's, el equipo de trabajo acordó cambiar las texturas para facilitar la identificación de los portales, la diferenciación entre calles vehiculares y peatonales, los árboles y las banquetas,^[11] ajustar la escala y las dimensiones, principalmente en el grosor y seleccionar un tono contrastante al azul, dado que el color ayuda a las personas con debilidad visual a distinguir la forma de los objetos. Aunque esta maqueta fue bien evaluada en la primera prueba, era necesario comprobar si había otros colores que fueran más perceptibles para los niños. En las siguientes pruebas se optó por el naranja, por lo que se pudieron plantear nuevas texturas y diferentes características para representar los arcos de los portales, dando nuevas posibilidades para la representación espacial.

En la tercera impresión, realizada con material de color blanco, la calidad mejoró por las técnicas empleadas en el modelado e impresión, gracias a un proceso propuesto por el Departamento de Tecnologías 3D (DT3D) de la FABUAP.

[9] La Asociación trabaja, principalmente, con niños entre 6 y 12 años en la enseñanza del lenguaje Braille y en el aprendizaje de la movilidad autónoma a través del uso del bastón guía y la terapia física. Asimismo, brinda apoyo psicológico para los niños y sus familias.

[10] Estas primeras maquetas fueron elaboradas en 2018 en el FabLab Puebla. El laboratorio de fabricación de prototipos es parte del Instituto de Desarrollo e Innovación Tecnológica (IDIT) de la Universidad Iberoamericana, campus Puebla.

[11] "La elección de una textura estará determinada por su facilidad para ser discriminada por el tacto: especialmente en relación con la superficie que tenga más próxima, pues dos texturas parecidas colocadas cerca una de otra genera indeterminación" (Consuegra Cano, et al., 2013: 107-108).

Con estas mejoras en el procedimiento de impresión, el equipo de trabajo tomó la decisión de imprimir más módulos de manzanas del centro histórico de Puebla y no solo la del primer cuadro alrededor de la plaza principal, como había sucedido en las primeras pruebas. Para esto, se diseñaron ensambles a través de la unión por machihembrado, con el objetivo de unir las piezas de 20 x 20 cm.

Para las nuevas pruebas se realizaron las impresiones de cuatro módulos que abarcan las demás manzanas que completan el primer cuadro de la ciudad, considerando como punto central el zócalo, la catedral y los portales. Ahora se cuenta con un prototipo de módulo que permitirá aumentar gradualmente el tamaño de la maqueta (Imagen 4).



Imagen 4. Pruebas de maqueta de templo de San Antonio
Fotografías de Adriana Hernández Sánchez.

Proceso de modelado e impresión 3D de la maqueta táctil en el DT3D de la FABUAP ^[12]

Después de que los niños de Leyer's evaluaron las impresiones de la maqueta, se plantearon algunas correcciones en las texturas para una mejor diferenciación de las calles vehiculares de las peatonales, así como la resistencia de los ensambles. En colaboración con el Departamento de Tecnologías 3D de la FABUAP, se consiguió una mejora notable en la precisión de la impresión y en la reducción de la cantidad de filamento por cada bloque.

[12] Este proceso fue realizado por Luis Gerardo Córdova Moreno, estudiante de Diseño Gráfico de la BUAP.

El filamento elegido para esta impresión fue a base de termoplástico PLA (Ácido Poliláctico)^[13] de 1.75 mm de espesor, con un relleno de cuadrícula al 15%, que genera pequeños cuadrados de 5 ml por cada lado, proporcionando rigidez al elemento.^[14] El software de impresión utilizado es Cura (versión 15.04.6), de código abierto, desarrollado y con soporte técnico de la empresa Ultimaker.^[15] Requiere una temperatura de impresión de 210°C para el filamento y de 50°C para la plataforma de impresión y trabaja a una velocidad de 65 mm/seg.^[16]

Después de la evaluación con los niños de la Asociación Leyer's de Puebla, se concluyó que la nueva pieza impresa en el DT3D presentaba un acabado de mejor calidad. Se corrigieron algunos rasgos en el diseño para hacer más eficiente la comprensión de la información y se modificaron las figuras para facilitar su percepción táctil. Una vez definida la estructura general y diseño de la maqueta desarrollada previa al DT3D, se realizaron los módulos faltantes utilizando Adobe Illustrator (software de dibujo vectorial) para trazar con vectores los perímetros y formas de las figuras en la maqueta, que luego se exportaron a Cinema 4D (software de modelado 3D), donde se proyectaron a diferentes alturas para generar volúmenes sólidos que, finalmente, se pasaron a Zbrush (software de escultura digital) en formato obj.^[17]

También se diseñaron los ensambles que unen los módulos impresos. Después de varias pruebas se optó por uno cuadrado de 10 cm por cada lado, machihembrado y de forma similar a los bloques LEGO, siendo unas piezas independientes que unen a los módulos de la maqueta en sus esquinas.^[18] Otra consideración con respecto a los ensambles fue la expansión del material al imprimirse (alrededor de 0.5 mm), por lo que

las piezas de ensamble se diseñaron 0.5 mm menos gruesas para que encajaran correctamente en los agujeros de los módulos. El tiempo de impresión de esta versión se redujo 20 minutos y en 10 gr de material utilizado por cada módulo con respecto a la primera impresión que se realizó en el DT3D.^[19]

Este plano-maqueta ayuda a que un niño con ceguera o debilidad visual tengan una primera noción de la distribución de las calles del centro histórico de la ciudad, previo al aprendizaje para desplazarse en campo, considerando que el proceso de desplazamiento autónomo con bastón guía comienza a los doce años, como nos comentaron en la Asociación Leyer's de Puebla.

La maqueta fue recibida con curiosidad y agrado por parte de los niños, aunque es necesario considerar algunas situaciones:

- Es importante mostrarles la maqueta en varias sesiones para que se familiaricen con ella.
- Los niños memorizan características específicas, como los volúmenes de los templos, en particular la catedral, identificable por sus mayores dimensiones.
- Los niños señalan espacios públicos como el zócalo, que destacan por la fuente central, además de los portales de alrededor.
- En el caso de la traza urbana, los niños pueden contar la cantidad de calles que hay entre dos puntos.
- Gracias a los cambios en las texturas, los niños diferencian una calle para automóviles de una peatonal o si la banqueta y la calle están al mismo nivel de piso, siendo esta una de las preocupaciones principales de los profesores de Leyer's.
- En el caso de la descripción dada a los niños, es importante evitar el uso de tecnicismos o términos especializados de uso exclusivo en arquitectura y urbanismo. Se debe utilizar un lenguaje claro, que describa los espacios construidos, las calles y las actividades realizadas en esos lugares.

Cabe mencionar que, en las sucesivas pruebas, los niños percibieron los cambios en la maqueta cuando

[13] Producido por la empresa Hatchbox con una mezcla a base de plantas y polímeros.

[14] La impresora utilizada es la PrintrBot Metal Plus. Dispone de dos extrusores, cada uno con una punta de 0.4 mm, que permiten imprimir dos filamentos en un mismo modelo, con una calidad máxima de 0.1 mm de altura por capa.

[15] El programa se presenta como "la solución final para la impresión 3D de fabricación de filamentos fundidos de código abierto". Cabe mencionar que en esta etapa se continuó utilizando el programa Rhinoceros para la creación de volúmenes.

[16] La primera impresión tardó siete horas y media y utilizó 109 gr de filamento.

[17] Para una impresión correcta, se aplicaron operaciones booleanas de dos tipos en Zbrush: de adición, para unificar todos los volúmenes en una sola pieza y, de intersección, para cortar la maqueta completa en módulos cuadrados.

[18] Se aplicaron operaciones booleanas de sustracción entre cada módulo de la maqueta y los ensambles en sus cuatro esquinas para generar los agujeros de los ensambles.

[19] El filamento elegido fue de 1.75 mm de diámetro, una mezcla de PLA y PHA (Ácido Poliláctico y PoliHidroxiAlcanoato, respectivamente), producido por la empresa ColorFabb, 100% biodegradable y con una resistencia mayor en comparación con el PLA normal.

se sumaron los siguientes módulos. Por otra parte, las texturas facilitaron la percepción de los espacios al diferenciar las calles con banquetas de las que no tienen y les indicaba cuáles deben considerarse como peligrosas. Sin embargo, es recomendable introducir pocas texturas para evitar confusiones.^[20]

Otros factores que influyeron en la evaluación de las maquetas fueron la disposición de los niños para participar y el horario de las pruebas, debido a que mientras más condicionados se sientan para responder al ejercicio, menor es su percepción hacia el objeto. El grado de discapacidad visual o la presencia de otras discapacidades (de tipo motriz, auditiva o cognitiva) también influyen.

Recordemos que el fin de estas maquetas táctiles es ayudar a los niños a desplazarse por las calles con seguridad, lo que depende tanto de factores objetivos (las características físicas del entorno) como subjetivos (la memoria, la facilidad para orientarse o la motivación) (Consuegra Cano, et al., 2013). Sin embargo, los planos-maqueta requieren de la guía de una persona para enseñarles a los niños a qué corresponden las diferentes simbologías y texturas para una mejor comprensión y aprendizaje. Después de la tercera evaluación, el 80% de los niños de Leyer's entendieron con mayor claridad la maqueta.

Maqueta Volumétrica Inmueble

A diferencia de las maquetas realizadas habitualmente por los arquitectos, que pretenden ser una representación fidedigna de la realidad, las maquetas hápticas buscan el entendimiento de los objetos desde la percepción táctil, donde, a partir de informaciones fragmentarias, el usuario realiza un proceso pausado de reconstrucción mental que, si se realizan siguiendo las normas de escala, diseño, texturas, materiales y color, “son más realistas que cualquier otra ayuda verbal o gráfica en relieve” (Consuegra Cano, et al., 2013: 111).

En 2017, realizamos una maqueta volumétrica impresa en 3D del antiguo templo de San Antonio, un inmueble patrimonial localizado al norte del centro histórico de Puebla. Uno de los motivos para seleccionar ese edificio fue su localización en un barrio antiguo donde es habitual encontrar vecinos con ceguera

congénita y que han vivido toda su vida allí, además de que se trata de un barrio considerado peligroso por el resto de la ciudad.

En esa ocasión, la maqueta fue evaluada por alumnos del Instituto Educativo para Personas con Ceguera y Debilidad Visual. Investigación y Docencia en Educación Especial (IECEDEVI), con sede en la ciudad de Cholula, Puebla. En su mayoría, se trataba de personas que adquirieron su discapacidad visual cuando ya eran adultos, por lo tanto, tenían recuerdos y referencias de las formas de los edificios. Al tocar la maqueta les resultaban comprensibles algunos elementos como las cúpulas y bóvedas, además de los espacios abiertos como el atrio.

El proceso de elaboración de la maqueta del templo de San Antonio tuvo la intención de mostrar un espacio arquitectónico patrimonial, destacando el cuerpo principal del edificio (nave del templo), los elementos en fachada (arcos y nichos), el atrio (antesala del templo) y una barda atrial en el perímetro del terreno, así como otros volúmenes en la azotea para identificar las cúpulas y espadañas donde se localizan las campanas.

En el verano de 2018, mientras trabajábamos en la maqueta del plano cartesiano, el equipo de la línea de investigación, en acuerdo con la Asociación Leyer's de Puebla, decidió presentar la maqueta del templo a los niños. Para esta ocasión, una de las primeras actividades fue la sensibilización del equipo de trabajo para interactuar con niños con ceguera o debilidad visual y seleccionar los principales elementos arquitectónicos a describir.

Con los niños, el ejercicio de reconocimiento de la maqueta del templo constó de cuatro etapas:

1. Presentación del guía, descripción general del proyecto y explicación del ejercicio de reconocimiento táctil de la maqueta.
2. Recorrido táctil por la maqueta con la guía de un adulto, quien conducía las manos de los niños, les explicaba los elementos que forman el edificio y les contó la historia del templo. En este proceso fue importante conocer si el niño sabía qué es un templo y si lo había visitado, ya que esto permitió determinar los procedimientos para una mejor explicación del edificio.
3. Recorrido táctil por la maqueta, realizado de forma libre por los niños. El adulto respondía sus dudas.
4. Evaluación del ejercicio por parte de los niños.

[20] Las texturas tienen para el tacto el mismo papel que el color para la visión, aunque no es conveniente presentar un número excesivo de ellas. Según distintos estudios, cuatro parece ser un número legible sin provocar cansancio o confusión (Consuegra Cano, et al., 2013).

Para evaluar si la maqueta funcionaba como un material didáctico para el reconocimiento de un inmueble y su valor patrimonial, se diseñó un cuestionario. Luego de algunos ajustes, las preguntas realizadas a los niños fueron las siguientes:

1. Después de la actividad que hicimos, ¿te imaginas cómo es un templo antiguo?
2. ¿Aprendiste cuáles son las partes de un templo?
3. ¿El tamaño de la maqueta te ayuda a entender su forma? ¿Crees que debería ser más pequeña o grande?
4. ¿Sentiste las texturas de la maqueta?
5. Si sabe leer en Braille, ¿crees que cada espacio debe tener su nombre en Braille?
6. ¿Crees que es importante visitar el templo?
7. ¿Qué calificación del 1 al 10 le pones a la actividad?

Durante el ejercicio, a los niños menores de 8 años fue necesario tomarles de la mano para ayudarles a realizar el recorrido táctil por la maqueta, mientras que a los mayores solo fue necesario guiarlos con la voz.

La evaluación por parte de los niños fue positiva. De los ocho niños que participaron, seis con ceguera y dos con debilidad visual, seis lograron una comprensión del edificio, mientras que todos entendieron las áreas explicadas por el instructor. Siete consideraron que la escala era correcta, seis percibieron las texturas de la maqueta y siete coincidieron en que era importante conocer el lugar, lo cual muestra que la maqueta funcionó como incentivo para despertar la curiosidad sobre los edificios históricos en los menores. El equipo de trabajo consideró que la explicación del templo debía ser más amena, a manera de cuento, para facilitar la comprensión de los antecedentes del lugar.^[21]

En el caso de los dos menores con debilidad visual, se les pidió que tocarán y observarán algunos detalles arquitectónicos impresos a mayor escala (un fragmento de muro, un nicho y una espadaña) en diferentes colores: azul, naranja y amarillo-verde. Esto se hizo con la intención de preguntarles si distinguían mejor algún color que otro. Los niños aseguraron que el amarillo se distinguía mejor, mientras con el azul y el naranja se identificaban mejor las profundidades (Imagen 5).

Algunas semanas después, se realizó una segunda prueba ya con algunos ajustes en la maqueta, lo que permitió una mejor comprensión del elemento. Nuevamente, de los ocho niños, siete afirmaron haber entendido el concepto de templo; todos dijeron haber aprendido sobre los elementos arquitectónicos básicos que lo componen, distinguieron las texturas de la maqueta y consideraron importante realizar una visita al lugar. Por otra parte, dos de los consultados mencionaron que era innecesario colocar letreros en Braille para diferenciar los espacios.

Con nuevas modificaciones, se hizo una tercera prueba unas semanas después. Seis niños comentaron que tenía una mejor idea de lo que es un templo, todos identificaron las diferentes partes del volumen tridimensional que les fueron mostradas, siete percibieron las texturas en la maqueta y se mostraron interesados en conocer el templo, cinco consideraron innecesario la colocación de letreros en braille y seis calificaron con un 10 el ejercicio que realizaron, incluyendo la explicación del guía.

De los resultados de las tres pruebas, se destaca la mención de los niños respecto a que no consideran necesario la colocación de letreros en Braille para identificar los espacios.

Al finalizar las pruebas, los profesores de la Asociación Leyer's de Puebla realizaron una serie de sugerencias que incluyeron: la posibilidad de fijar la maqueta a una superficie rígida como una tabla o mesa, la necesidad de que las piezas estén bien unidas entre sí, que el tamaño fuera abarcable con las dos manos y la utilización de diferentes texturas para diferenciar elementos como edificios y parques. Por otra parte, afirmaron que este ejercicio puede ser parte importante del aprendizaje de los niños en temas de orientación y movilidad.

Discusión de resultados

La elaboración de maquetas táctiles, tanto del centro histórico de Puebla como del inmueble patrimonial, nos muestra que se requiere de la investigación aplicada en diseño inclusivo, arquitectura y urbanismo para crear herramientas que contribuyan a mejorar la percepción de la ciudad por parte de los niños con ceguera y debilidad visual.

[21] Estas sesiones de prueba fueron realizadas por alumnos participantes de los programas Verano de Investigación Científica 2018 de la Academia Mexicana de Ciencias (AMC) y Delfín CONACYT 2018.



Imagen 5. Pruebas de maqueta de templo de San Antonio
Fotografías de Adriana Hernández Sánchez.

También es importante señalar que a una edad temprana se puede reconocer espacialmente un territorio y comprender cómo funciona. En el caso de los niños, se construye una idea de la ciudad o el espacio arquitectónico a partir de los sentidos del tacto y del oído, por lo que la memoria jugará un papel primordial en el momento de aprender a moverse por la ciudad con su bastón guía.

Las características de estas maquetas no son convencionales, puesto que no se trata de reproducciones exactas de los inmuebles. Son el resultado de muchas pruebas, tanto en el laboratorio como en la evaluación con los usuarios, que se adecúan para proporcionar herramientas al tacto a través de la combinación de volúmenes, grosores, texturas y colores que permiten a los niños comprender la geometría de objetos tridimensionales y los espacios arquitectónicos, a la vez que hacen una lectura del patrimonio local.

A diferencia de reproducciones exactas de monumentos, como las realizadas por especialistas como Néstor F. Marqués y los museos Vilamuseu (España) y Tattile Statale Omero (Italia), en la presente iniciativa se texturizan áreas y se destaca o aumenta el tamaño de algunos elementos arquitectónicos para definir aspectos relevantes de las edificaciones, como cúpulas y portadas, con el objetivo de facilitar su lectura al público infantil a través del tacto.

En el caso de la maqueta plano cartesiano, el ensamblado de las piezas permite ampliar los límites territoriales por fuera del centro histórico de la ciudad. La siguiente etapa de esta iniciativa es abarcar más módulos de calles para la conectividad entre el centro y la colonia El Ángel, donde se localiza la sede de la Asociación Leyer's de Puebla.

Otro punto importante es que los elementos de la maqueta se identifiquen con facilidad, que el tacto transmita información sin riesgo de que se maltrate el material y que sea segura para el usuario. Por ello, se debe supervisar la calidad de la impresión, de manera que no tenga ningún tipo de rebaba o protuberancia punzocortante que pueda hacerle daño a los niños al momento de tocarla con la mano.

Las dos maquetas, tanto el plano cartesiano como la maqueta volumétrica del templo, se ajustan a las necesidades de aprendizaje, en temas de orientación y movilidad, de los niños de la Asociación Leyer's de Puebla, institución civil que busca la rehabilitación y asistencia social para personas con ceguera y debilidad visual.

En el caso de algunas empresas, como el despacho argentino In Planos, sus mapas urbanos hápticos se basan en texturizados, pero el volumen de los edificios no lo consideran importante. Sus maquetas se

elaboran por medio del corte de laminados de acrílico, con espesores que no permiten indicar elementos como torres o cúpulas. En nuestro caso, apostamos por las texturas y los volúmenes impresos, basándonos en pruebas que nos permiten concluir que dichos elementos sí ayudan a un mejor entendimiento de los objetos.

El formato impreso en tecnología 3D permite la reproducción en serie, es de fácil mantenimiento, de gran adaptabilidad por la manera como se ensambla y se determina en un marco de recomendaciones de organismos internacionales reconocidos en el tema como la Organización Nacional de Ciegos de España (ONCE).

Por otro lado, el proyecto sensibiliza a estudiantes y profesionales de áreas disciplinares como la arquitectura, el urbanismo y el diseño gráfico en temas de accesibilidad y su importancia en el proceso del diseño, incursionando en problemas reales que necesitan soluciones sensibles por parte de los técnicos.

Este proyecto también demuestra que es posible la colaboración interinstitucional, como la realizada entre la línea de investigación Espacio Público, Participación Ciudadana y Centro Histórico de la FABUAP, Re Genera Espacio, la Asociación Leyer's de Puebla y el FabLab Puebla. El trabajo conjunto de la Universidad con asociaciones civiles, con los equipos de trabajo de otras instituciones educativas e, incluso, entre estudiantes de arquitectura, urbanismo y diseño gráfico, visibiliza nuevos campos de oportunidad. El apoyo económico de organismos externos, como el CONCYTEP Puebla, son necesarios para materializar estas iniciativas.

Referencias bibliográficas

ÁLVAREZ, R. (2019, abril 26). "Lo nuevo de Lego son «ladrillos braille» para ayudar a los niños invidentes o con alguna discapacidad visual". *Xataka*. Consultado en: <https://www.xataka.com/otros/nuevo-lego-ladrillos-braille-para-ayudar-a-ninos-invidentes-alguna-discapacidad-visual>

CONSUEGRA CANO, B., et al. (2013). "Museología inclusiva para las personas con limitaciones funcionales en la visión". En: A. Espinosa Ruíz y C. Bonmatí Lledó (eds.), *Manual de accesibilidad e inclusión en museos y lugares del patrimonio cultural y natural*. Gijón: Trea, pp. 89-127.

MARQUÉS, N. F. (s.f.). *Impresión 3D de la Iglesia de Santa María de Melque*. Consultado en: <http://nestormarques.com/impresion-3d-de-la-iglesia-de-santa-maria-de-melque/>

MUNDO ESPEJEL, R. (2019, noviembre 7). "Retinopatía diabética afecta a cuatro de cada 10 mexicanos con diabetes". *Notimex, Agencia de Noticias del Estado Mexicano*. Consultado en: <http://www.notimex.gob.mx/ntxnotaLibre/754957/retinopat%C3%ADa-diab%C3%A9tica-afecta-a-cuatro-de-cada-10-mexicanos-con-diabetes>

SECRETARÍA DE DESARROLLO SOCIAL. (2016). *Diagnóstico sobre la situación de las personas con discapacidad en México*. México D.F.: SEDESOL.

VILAMUSEU. (s.f.). *Vilamuseu pone en marcha visitas individuales con audiodescripción personal para visitantes con ceguera*. Consultado en: <http://www.vilamuseu.es/noticia/vilamuseu-pone-en-marcha-visitas-individuales-con-audiodescripcion-personal-para-visitantes-con-ceguera/73>