

# “Visualizaciones inmersivas: Usando VR para explorar indicadores de desarrollo económico del Banco Mundial”

## MC7201 - Visualización de información

Juan José Cordero Gómez  
Escuela de computación  
Instituto Tecnológico de Costa Rica

Luis Diego Hidalgo Blanco  
Escuela de computación  
Instituto Tecnológico de Costa Rica

### I. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El problema en cuestión aborda la desigualdad en el acceso a la educación en diferentes contextos socioeconómicos empleando datos públicos del Banco Mundial. Esta desigualdad crea una falta en las oportunidades disponibles para distintos segmentos de la población, provocando disparidades en ingresos, empleo y movilidad social. Aunque las técnicas comunes de visualización de datos como gráficos y mapas han servido para representar y analizar este problema, su capacidad se limita a mostrar información bidimensional y en limitada cantidad.

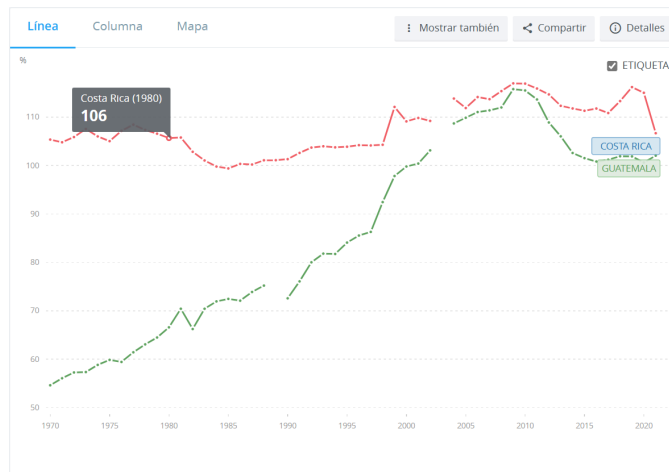


Fig. 1. Ejemplo de visualización de indicador de la Inscripción escolar, nivel primario (% bruto) - Costa Rica, Guatemala. Proviene de Instituto de Estadística de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura ( UNESCO ).

En la figura 1, se muestra un ejemplo de cómo son mostrados los datos a nivel de la plataforma del Banco Mundial, donde se expone un plano sencillo en gráfico de líneas y puntos (mismo que es empleado en todos los indicadores). Si bien es cierto estamos muy acostumbrados a este tipo de visualizaciones y estas son fáciles de leer y comprender, pueden tornarse un poco aburridas o complejas de explorar. Este proyecto busca superar las limitaciones de dos dimen-

siones al explorar el uso de la realidad virtual (VR) que puede dar a vida visualizaciones 3D de una manera más intuitiva, inmersiva y menos aburrida, colocando al usuario directamente dentro del entorno de datos dándole un sentido de escala que no se puede lograr con visualizaciones 2D, esto le permitirá comprender conjuntos de datos complejos y relaciones espaciales de manera más intuitiva. Se busca facilitar la comprensión de los datos permitiendo así, entre otras cosas, crear conciencia e inspirar cambios de políticas para abordar temas como la desigualdad educativa (enfoque que se da al presente proyecto) y demás aspectos que puedan derivar de la interpretación de los indicadores provistos por el Banco Mundial. Una exploración por VR suele ser intuitiva porque no es necesario mucho conocimiento previo, al emplear un visor los movimientos de la cámara serían naturales ya que registra los movimientos de la cabeza y desplazarse por el entorno, puede hacerse a través de muchas alternativas, controles o teclados tradicionales.

Se debe destacar que el enfoque principal de este proyecto es la visualización de la información, más allá del análisis que derive de la misma, dando énfasis en el proceso creativo del modelo visual y las posibilidades que ofrecería una exploración a través de un entorno de realidad.

Para acceder a la solución se puede ingresar a la siguiente página web <https://ld9797.github.io/wbvr.github.io/>. Del mismo modo, el código se encuentra disponible en <https://github.com/LD9797/wbvr.github.io> y las instrucciones para ejecutarlo se encuentran en el archivo README.md y en esta dirección <https://drive.google.com/file/d/1axunsEZA4DWbQrpxrpDwoX4zrF5Bvo67/view> se puede encontrar un video demostrativo de la solución.

### II. OBJETIVOS

#### A. *Objetivo general:*

El objetivo es desarrollar una experiencia inmersiva e interactiva utilizando realidad virtual (VR) que permita visualizar de manera efectiva el problema de la desigualdad en el acceso a la educación utilizando datos del Banco Mundial. La experiencia inmersiva permitirá a los usuarios

explorar los datos en un entorno tridimensional dinámico, lo que facilitará una conexión más personal e impactante con el problema.

#### B. Objetivos específicos:

- Explorar las posibilidades y/o potencial de la realidad virtual en la visualización de información.
- Proponer un diseño de una interfaz VR intuitiva y fácil de usar que permita a los usuarios navegar a través de varios indicadores de desigualdad educativa.

### III. DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS

Se explora una serie de indicadores que abarcan una amplia variedad de factores relacionados con la educación. Para mayor claridad, hemos categorizado estos indicadores de la siguiente manera (todos los nombres de los indicadores han sido traducidos al español):

- Acceso e inscripción: indicadores como niños fuera de la escuela, tasa bruta de admisión en el primer grado de educación primaria, tasas de matrícula escolar y la progresión a la escuela secundaria, proporcionan información sobre el acceso y la participación en la educación en diferentes niveles y géneros.
- Calidad y desempeño: indicadores como la proporción de alumnos por maestro, maestros capacitados en educación primaria, estudiantes repitiendo años y persistencia hasta el último grado de primaria, ofrecen un entendimiento de la calidad de la educación y el desempeño de los estudiantes.
- Alfabetización y nivel educativo: indicadores como tasas de alfabetización, tasas de finalización de la enseñanza primaria y distribución por edades, aportan información sobre el nivel educativo y niveles de alfabetización en una determinada población.
- Gasto del gobierno: indicadores como gasto público en educación y gasto público por estudiante, brindan información sobre el compromiso financiero de los gobiernos con el sector educativo.
- Fuerza laboral y desempleo: indicadores como la tasa de desempleo y el tamaño de la fuerza laboral ofrecen una visión de la dinámica del mercado laboral y cómo la educación puede influir en las oportunidades de empleo.

### IV. DISEÑO VISUAL

#### A. Figuras que describen el diseño y lo explican

El diseño se basa principalmente en un museo dividido en secciones, donde cada una de ellas tiene una región geográfica de diferentes contextos socioeconómicos y en estantes virtuales se presentan los indicadores de educación escogidos para desplegar, del mismo modo, en el centro del museo se presentan todos los indicadores juntos de todas las regiones, en la figura 2 se puede apreciar lo descrito anteriormente.

Para la implementación se utiliza la herramienta BabiaXR para desarrollo de ambientes VR en web presentada por

Moreno-Lumbreras et al. [1], la cuál está enfocada justamente en visualización de la información, es de código abierto, sencilla de utilizar, y al ser web, solo basta usar un navegador de internet para acceder al entorno virtual, ya sea en una computadora personal o en un teléfono inteligente.

Las visualizaciones se muestran como filas de gráficos donde cada una representa un país, este diseño agrupa toda la información de los indicadores y al ser tanta, se puede dificultar la lectura, es por eso que cada fila tiene un color que va en función de la bandera del país y se tiene una interacción “hover” donde el usuario puede sobreponer el mouse en el gráfico y una pequeña ventana se abrirá indicando el país junto al año y el valor. Del mismo modo, el usuario puede colocar la cámara del entorno virtual en el ángulo y distancia que desee para visualizar mejor los gráficos.

En la navegación se utiliza una combinación entre las teclas w (arriba), a (izquierda), s (abajo) y d (derecha) y el mouse, y con el uso del visor de VR se utilizan gestos naturales táctiles (si el visor lo soporta) y de movimiento de la cabeza, la idea es que el usuario navegue dentro del museo y explore todas las regiones e indicadores. Vale enfatizar que no es del todo necesario un visor VR para el uso de la solución, ya que, lo único que proporciona es prácticamente una mayor inmersión a detalle en los datos y en el ambiente, pero todo se puede apreciar igual de bien sin él con el uso de una pantalla convencional.

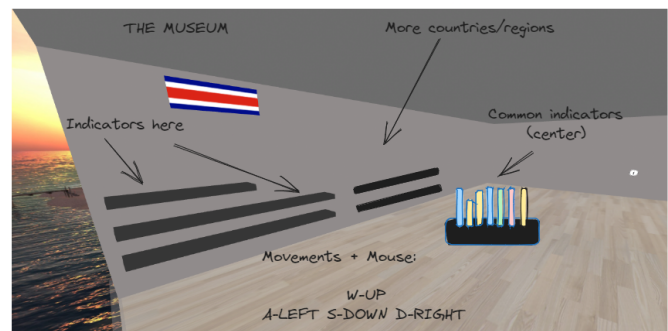


Fig. 2. Borrador inicial de visualización del museo, se contemplan las secciones en donde se van a desplegar los indicadores por región.

En la figura 3 se puede apreciar a mayor detalle el estante de una determinada región, se presenta el mapa correspondiente junto con los indicadores donde cada color representa un país, como ya se mencionó anteriormente. Los indicadores que se despliegan son (1 por cada categoría descrita anteriormente): matrícula escolar primaria y secundaria % bruto (en barras y en esferas), repetidores primaria total % de matrícula total, tasa de alfabetización total de adultos % de personas de 15 años o más, gasto público en educación total % del PIB y desempleo con educación avanzada % de la fuerza laboral total con educación avanzada.

En la figura 4 se aprecia uno de los gráficos 3D a mayor detalle, cada uno presenta una placa con el nombre del indicador y se puede interactuar con ellos colocando el mouse

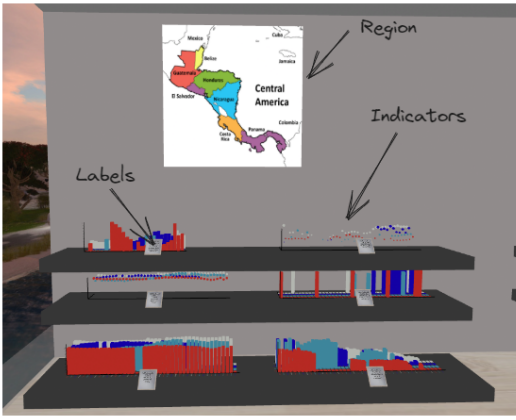


Fig. 3. Visualización del estante para una región, 5 indicadores en 6 gráficos distintos.

encima (“hover”) donde se desplegará una pequeña leyenda que describe el dato seleccionado.

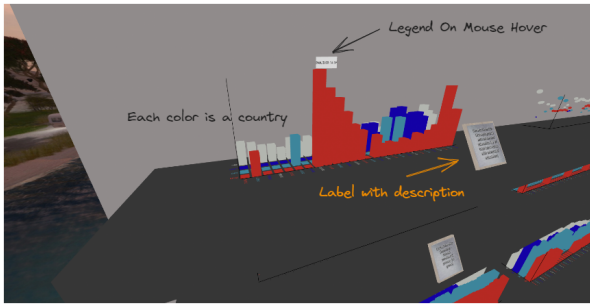


Fig. 4. Visualización de cerca de un gráfico, contiene una descripción del indicador, una leyenda al interactuar con el mouse y cada color representa un país.

Finalmente, se despliega una ventana de ayuda que le indica al usuario cómo movilizarse e interactuar con el museo, la misma se puede apreciar en la figura 5.

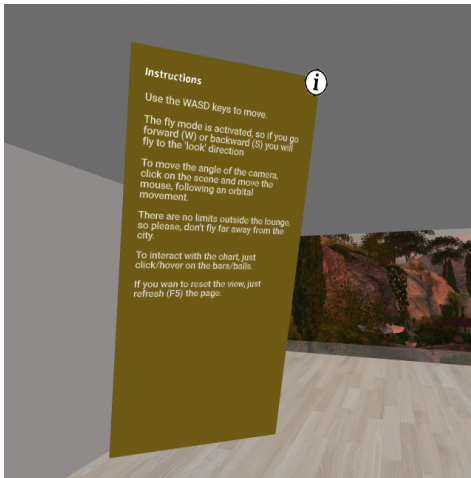


Fig. 5. Instrucciones de navegación desplegadas en el museo.

## B. Justificación del diseño

Hemos inspirado nuestro diseño en los trabajos descritos por Shaikh et al. [2], Moreno-Lumbreras et al. [1] y Qiu et al. [3], donde se exploran las visualizaciones con realidad aumentada y realidad virtual, nuestra idea es introducir los datos ya correlacionados y generar entornos 3D interactivos que serán desplegados en un ambiente de realidad virtual hecho con la herramienta BabiaXR [1].

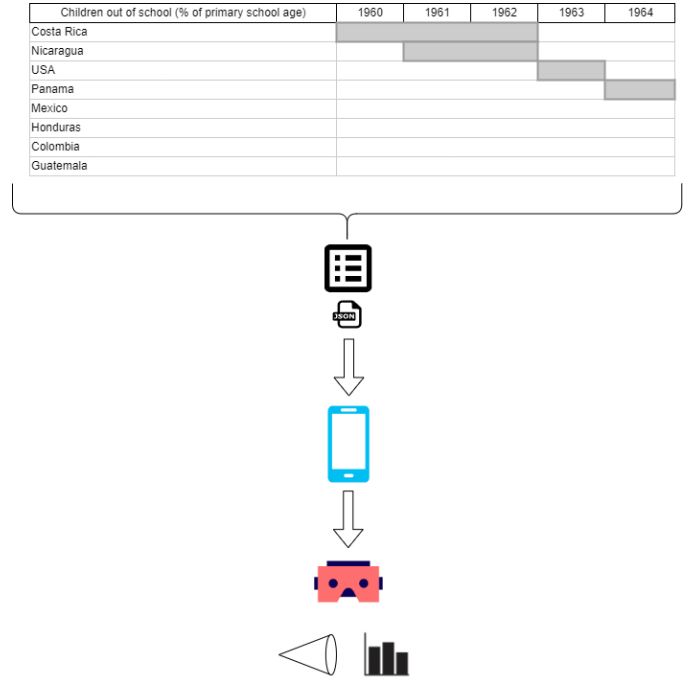


Fig. 6. Flujo del diseño creativo para la visualización. Se ejemplifica como a partir de un análisis de la información proveniente de los indicadores, se exporta a un archivo JSON que será leído por la aplicación que se encarga de generar el entorno 3D y crear los gráficos dentro del mismo. Se representa como un celular, ya que la intención es que este sea empleado en un visor de VR (haciéndolo accesible para cualquier persona) y de forma natural el usuario podrá explorar las visualizaciones a través de movimientos naturales con su cabeza.

El hecho de incluir la realidad virtual como un medio para la visualización de datos hace que exista un factor de cambio muy grande en cuanto a lo que usualmente se está acostumbrado a ver en dos dimensiones, por eso se decide el uso dentro del entorno de virtual de gráficos tradicionales (gráficos de barras y esferas), con el fin de facilitar la adopción a este tipo de visualizaciones, y junto con la idea de crear un museo, se tiene la intención de brindarle al usuario un ambiente agradable donde pueda explorar los datos. Lo que se busca es que el cambio no sea tan abrupto y no se convierta en una barrera de entrada.

### 1) Objetivos del diseño:

- Generar visualizaciones en VR que permitan a los usuarios manipular y explorar gráficos en 3D a través de la herramienta BabiaXR.

- Presentar en un ambiente agradable elementos visuales estéticamente atractivos, entendibles e inclusivos para una audiencia diversa.
- Construir una plataforma universal que permita el análisis de datos con el uso de la realidad virtual.

## 2) Alternativas consideradas:

**Mapas interactivos de datos:** son mapas de datos utilizados para interactuar con datos geográficos. Permiten evaluar una gran variedad de información superpuesta en diferentes regiones geográficas, como lo expuesto en los trabajos por Bimonte et al. [4] y Lupei et al. [5] ambos sobre el diseño de mapas interactivos. En la investigación por Bimonte et al. [4] los autores proponen “Map4OLAP”, una herramienta para la visualización de mapas interactivos que introduce nuevos métodos de geovisualización para representar datos de tablas dinámicas sobre mapas. Esta herramienta genera mapas “choropleth”, que usan una amplia gama tonos o colores para representar los diferentes valores de una variable. En la investigación por Lupei et al. [5] los autores proponen “DataShine”, una plataforma web que vincula los datos del censo del 2011 de Inglaterra y Gales, en ella demuestran el poder y la utilidad de crear un mapa interactivo con una interfaz simple pero flexible y un conjunto muy detallado de datos demográficos.

**Dashboards interactivos:** estos dashboards permiten al usuario visualizar información e interactuar con ella en tiempo real. Enyew et al. [6] desarrollaron un dashboard interactivo para visualizar los datos operativos del banco de alimentos durante el huracán Florence junto con otros datos relevantes para estudiar las tendencias y patrones de distribución de alimentos. Abdelsamad y Karrar [7] describen el desarrollo de un dashboard interactivo para visualizar el progreso del COVID-19 en el país africano de Sudán, donde se visualizan muertes, casos confirmados, recuperaciones, pruebas realizadas, entre otros.

## 3) Alternativa escogida:

La decisión de utilizar gráficos 3D en VR en lugar de las otras alternativas presentadas anteriormente, se basa principalmente en la amplia cantidad de literatura científica que respalda esa área [1] [2] [8] [9] [10] [11] [12] [13] [14] [15] [16] [17] [18], acceso a herramientas de código abierto y librerías que facilitan su implementación, en este caso BabiaXR, así como su elemento innovador y las ventajas que ofrece esta tecnología en cuanto a participación, inmersión e interacción. Esto demuestra su potencial de crear experiencias más poderosas y memorables para los usuarios.

Las figuras 7, 8 y 9 ilustran parte de las iteraciones realizadas en BabiaXR durante el proceso creativo de construcción de la visualización, la exploración de componentes, la navegación, y los tipos de gráficos que pueden mostrarse. Representar los datos en un entorno que se asemeja a una sala de exposiciones de un museo contextualiza la naturaleza

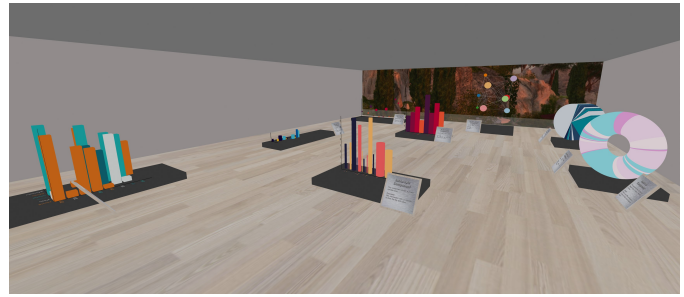


Fig. 7. Primeras exploraciones del entorno en VR, en este caso se trata de un cuarto tipo museo donde por estante se tienen diversos gráficos representando los datos.

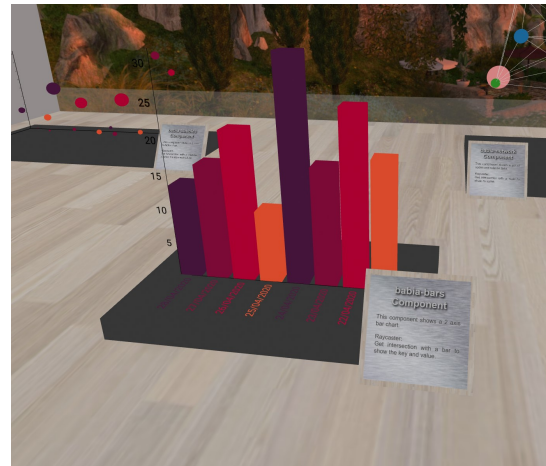


Fig. 8. Primeras exploraciones del entorno en VR, acercamiento a uno de los estantes donde se estaría desplegando la información. La navegación en este caso consiste en una cámara que puede volar por cualquier parte del cuarto, tomando el ángulo que sea deseado.



Fig. 9. Pruebas de uso de botones para mostrar información adicional, como la forma en la que se debe navegar, se representa el botón informativo flotante extendido.



de los indicadores. Dado que la información refleja cómo se comporta un país en términos de educación, este ambiente remite a un espacio serio y de concentración.

#### 4) Partes innovadoras de la propuesta:

El concepto de VR es un tema que, si bien es cierto, existe hace muchos años, su constante evolución y accesibilidad lo han hecho cada vez más interesante, la innovación en este ámbito es clara en temas como:

- Entorno/ambiente inmersivo: la tecnología VR transporta al usuario a un entorno inmersivo donde, en este contexto, puede explorar datos desde diferentes perspectivas y ángulos [2].
- Percepción espacial: la visualización de datos por medio de VR/AR utiliza la percepción espacial del usuario que le permitiría entender la información de manera más intuitiva [8].
- Visualización colaborativa: los entornos VR presentan un nuevo enfoque para la interacción colaborativa y simultánea de los datos. Se puede interpretar como interactuar de forma casi que física con los datos junto con otras personas en un mismo ambiente [3].
- Interacción: a través de diversos controles y sensores de movimiento, los usuarios pueden interactuar con el entorno virtual y manipular objetos de manera natural. Esto añade un nivel de realismo y dinamismo a la experiencia, permitiendo un mayor nivel de participación y libertad de acción.
- Líneas de tiempo inmersivas: con el uso de la tecnología VR, las líneas de tiempo podrían convertirse en un camino 3D que muestra los cambios en las métricas de desigualdad educativa representadas a lo largo del viaje. Esto permitiría a los usuarios caminar en el tiempo y comprender la evolución de la desigualdad.

La VR es innovadora, inmersiva, interactiva y multisensorial, puede ser empleada en varios campos y tiene el potencial de transformar la forma en que vivimos y experimentamos el mundo.

#### 5) Layout:

En la figura 10 se presenta el “layout” del diseño de la propuesta, que posteriormente funciona como guía para el desarrollo de la visualización. A continuación presentamos una breve descripción de sus elementos:

- Cargar los datos: implica importar al entorno los indicadores de datos relevantes. Estos ya deben estar pre-procesados y limpios para garantizar su correcta visualización.
- Uso del visor VR: la idea es que los usuarios utilicen un visor de realidad virtual para que la interacción con la información sea más profunda a cómo se puede apreciar en la figura 11. Del mismo modo, los datos igual podrán visualizarse en una pantalla corriente.

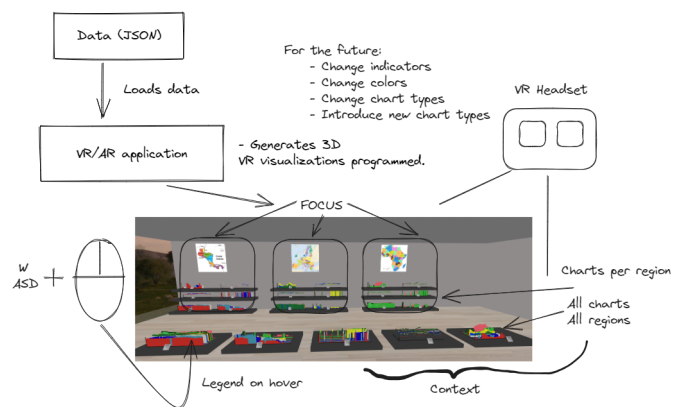


Fig. 10. Diagrama creativo de la solución planteada. Muestra el flujo de la carga de los datos, generación de los gráficos y la interacción con el ambiente. El Focus se orienta principalmente hacia las secciones donde se muestran los indicadores por región, mientras que el Context puede interpretarse como la visión global del museo, así como los indicadores centrales que combinan todas las regiones, proporcionando una perspectiva más completa y general de la información presentada.

- Interacción con el gráfico: dentro del entorno virtual, los usuarios podrán, a través del uso del teclado y el mouse, interactuar directamente con los gráficos 3D ya sea acercar, alejar, rotar, etc.
- Datos para mostrar: ya sean indicadores individuales o correlaciones ya prearmadas, el usuario podrá personalizar su experiencia seleccionando los datos específicos que desea visualizar en donde se desplegará una leyenda mostrando información de los mismos.
- Tipos de gráficos: se ofrece por el momento dos tipos de gráficos 3D que son barras y esferas, esto debido a la limitante de BabiaXR que ofrece pocas opciones, sin embargo se considera implementar por cuenta propia gráficos de líneas e histogramas.
- Otras configuraciones: se plantea la posibilidad de que el usuario pueda cambiar los colores, tipos de gráficos y tipografías previo a la generación de todas las visualizaciones.

#### 6) Descripción de los elementos:

La figura 12 muestra una vista general de la sala de museo planteada para la visualización, los elementos presentes en la escena será una serie de pisos elevados que representan un tipo de estante semejante a lo que se ve en los museos, sobre el cual se dibujan los gráficos (barras y esferas) de los indicadores respectivos para país. Se complementa con figura 13 donde se trata de mostrar la interacción con uno de los gráficos en específico, es importante destacar que para efectos de captura de pantalla se muestra desde el navegador de una PC, la figura 11 detalla la forma en la que se vería desde el dispositivo móvil

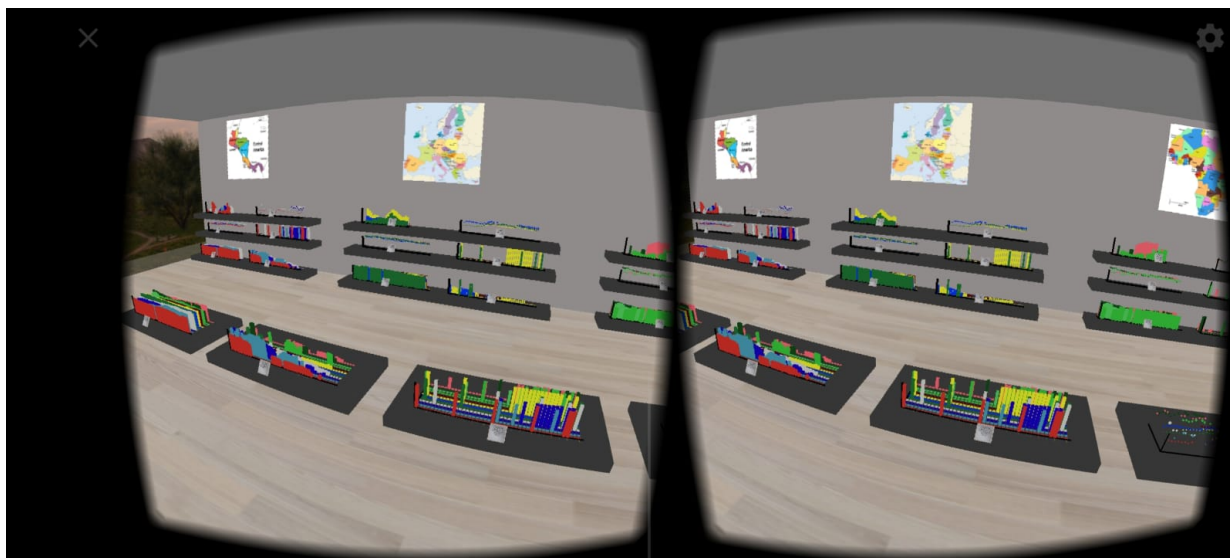


Fig. 11. Perspectiva de la vista del ambiente a través de un visor VR, en este caso Google Cardboard en un teléfono inteligente.

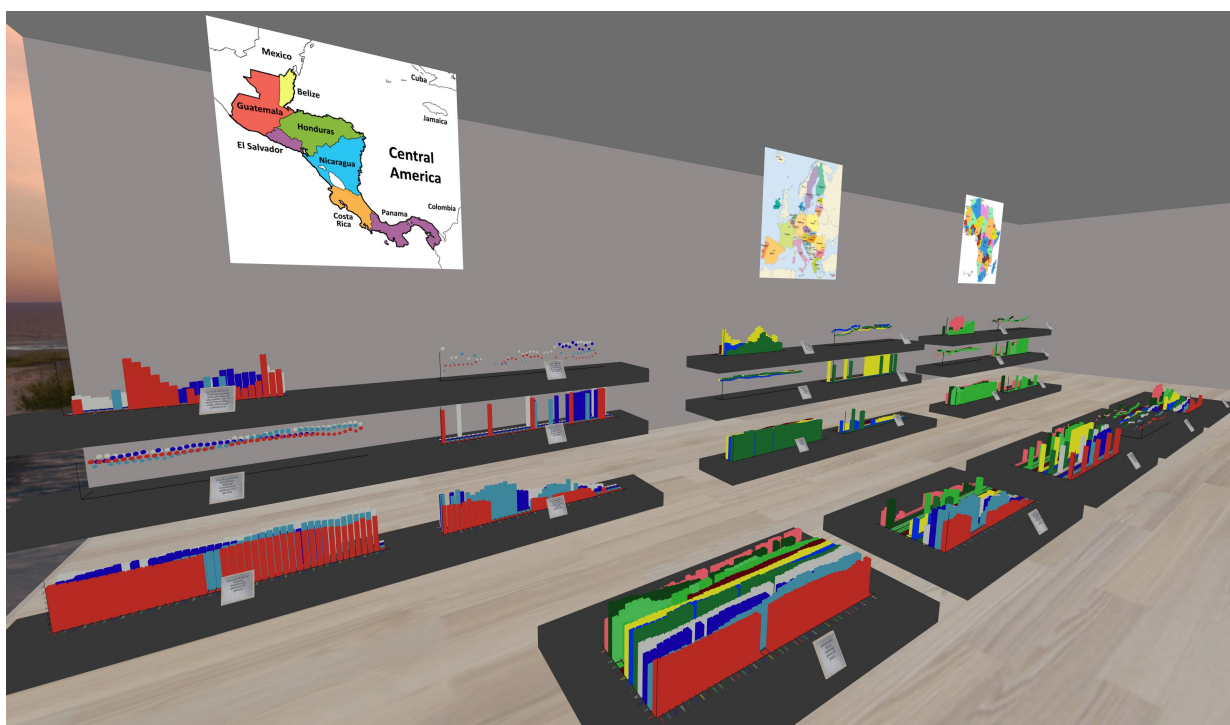


Fig. 12. Vista general de la sala de museo planteada para la visualización de los datos, donde se puede apreciar en su totalidad la habitación que contiene todos los indicadores que se graficaron.

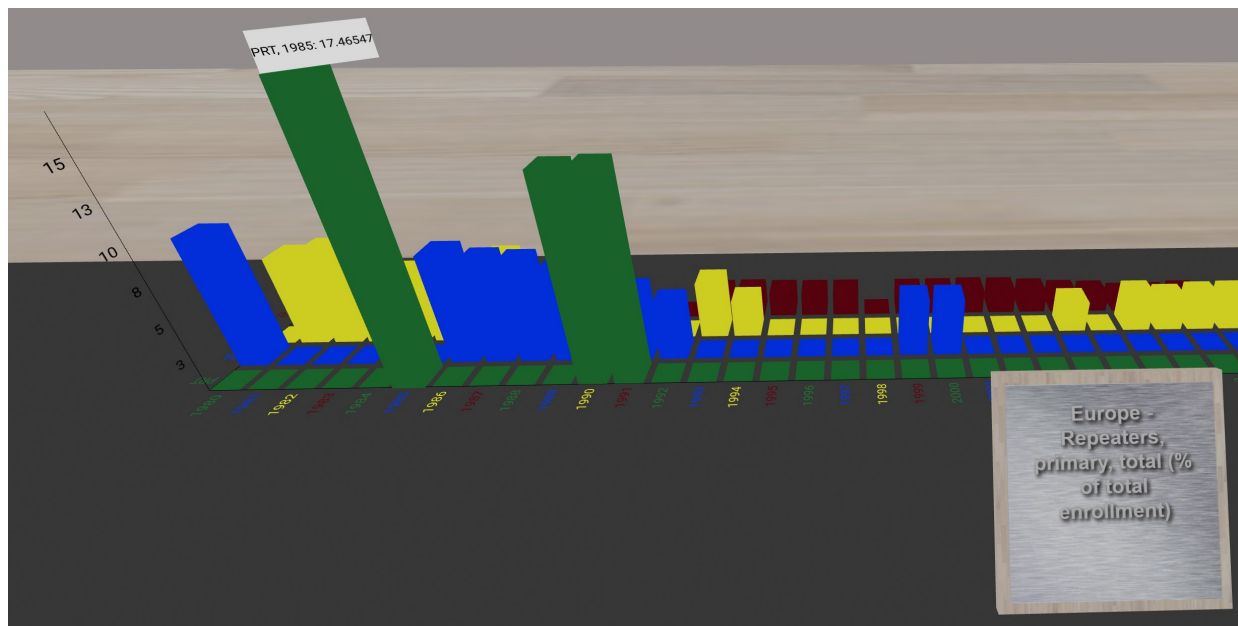








Fig. 13. Muestra de un acercamiento al indicador de personas que repiten un año lectivo en la región Europea, el ángulo mostrado permite ver el nombre del indicador, así como los años. Al tocar una columna se muestra el nombre del país y el valor exacto del indicador para ese año y país.







usando un visor de VR.

Dentro de estos estantes, habrá una placa que señala el indicador que se está mostrando, cada color dentro del gráfico representa un país específico de esa región, el usuario podrá interactuar con el gráfico visualizándolo desde el ángulo que mejor desee y al colocar el mouse sobre ellos, se desplegará una leyenda que proporcionará información sobre el dato seleccionado, todo eso para facilitar la lectura. De la misma forma, en el centro del museo se plantea exhibir todos los indicadores de todas las regiones, este diseño tiene como objetivo permitir al usuario evaluar las diferencias entre una región y otra, con el fin de concienciar sobre las desigualdades en el acceso a la educación.

También se contempla el despliegue de otras opciones, previo a la generación de las visualizaciones, para la modificación de los colores, tipografía y tipos de gráficos.

### 7) Colores y tipografía:

Los gráficos dentro del entorno 3D hacen uso, en la medida de lo posible, combinaciones de colores armónicas relacionados con las banderas de los países de las regiones, con fin de emplear colores que contrasten entre ellos y sean fácilmente distinguibles. En el caso de América Central, se utiliza un esquema análogo (ver figura 14) entre Nicaragua  y Honduras  debido a la similitud entre ambas banderas, para Panamá  se utilizó el rojo y Costa Rica  el blanco, estos dos últimos se ubicaron a los costados de los gráficos para diferenciarlos mejor. Para Europa se utilizó un esquema de color doble complementaria en cuadrado (ver figura 15), Portugal verde , Francia azul  (diferente a Honduras

y Nicaragua), España amarillo  y Alemania rojo oscuro  (diferente a Panamá), al observar un ejemplo de este esquema en la imagen 15 se puede apreciar mejor cómo se realizó la selección. Finalmente para África, se escogió un esquema monocromático (ver figura 17) con diferentes tonos de verde para Nigeria , Sudáfrica  y Kenia  (todos los verdes monocromáticos con Portugal), y para Egipto se escogió un rojo claro  como color complementario al verde (diferente a Panamá y Alemania) tal como se aprecia en la figura 16. En la comparación entre regiones puede haber confusión entre las combinaciones monocromáticas, sin embargo, la clara separación y orden entre regiones hace posible la diferenciación.

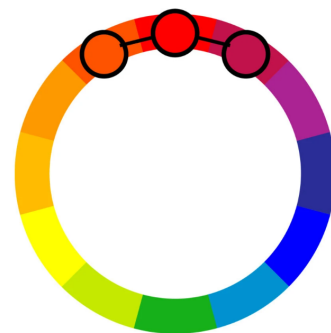


Fig. 14. Esquema de colores análogos.

En el entorno 3D creado, como se visualiza en 12, emplea para el piso una textura que asemeja a la madera, con el fin de dar el efecto de cuarto de museo. Las paredes son color gris claro para que no se confundan con los datos de los gráficos. Adicionalmente en la parte abierta del cuarto, se tiene una

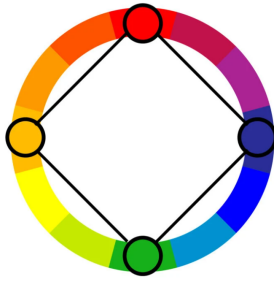


Fig. 15. Esquema de colores doble complementaria en cuadrado.

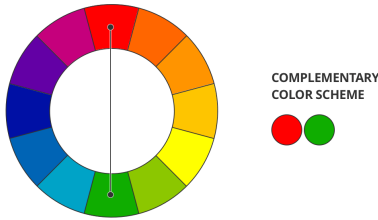


Fig. 16. Esquema de colores complementarios.

imagen de un cielo claro, con una isla con vegetación, la intención es representar un poco la libertad que se tiene en este entorno virtual.

La tipografía empleada es llamada “Archivo”, es una familia tipográfica grotesca sans serif diseñada originalmente para titulares y para resaltar [19]. Las letras son de 45px y 26px de tamaño, esto para las leyendas de los gráficos y las tablas informativas, respectivamente.

#### 8) Descripción de la interacción del usuario:

Lo que se busca es que los usuarios (puede ser de forma colaborativa), interactúen con visualizaciones de datos 3D en un entorno VR a través de controles y gestos intuitivos. Los usuarios ingresan los datos, personalizan los tipos de gráficos con esquemas de color y tipografías, luego exploran el gráfico girando, acercando, cambiando el punto de vista,

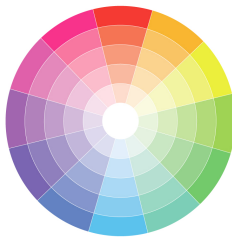


Fig. 17. Esquema de colores monocromáticos.

entre otras facilidades de interacción. También, los usuarios podrán interactuar con elementos individuales dentro de la visualización y comparar varios conjuntos de datos para obtener una perspectiva más amplia, esto se puede realizar de forma colaborativa con otros usuarios ya que BabiaXR soporta esta característica. El objetivo es ofrecerle a los usuarios una experiencia fluida y atractiva a través de una plataforma inmersiva e interactiva.

Navegar por el escenario será de forma natural, sin indicación explícita en pantalla, al emplear un headset de VR, ver figura 11, se pueden realizar movimientos con la cabeza tal cual como en el mundo real. El desplazamiento se plantea con un teclado utilizando las teclas w, s, a y d como las flechas direccionales, no obstante, si se cuenta con un sistema VR que tenga controles adicionales se podrá usar el mismo. De igual forma, el mouse hará de puntero para poder presionar botones o hacer enfoque en algún elemento en particular.

La cámara será del tipo flotante y permitirá al usuario volar sobre el escenario, para adoptar así el ángulo que más le convenga para interactuar con la visualización.

## V. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Este proyecto no incluye un análisis cualitativo experimental sobre las emociones que surgen durante la interacción con la visualización en VR, sin embargo, durante el proceso de desarrollo se ha identificado claramente un potencial significativo en el uso de esta tecnología. También, se ha observado que muchas herramientas de VR disponibles hasta la fecha requieren un alto nivel de especialización para que su desarrollo sea efectivo, pero con el uso de BabiaXR se hace mucho más accesible la creación de ambientes en VR con poco conocimiento técnico y al ser una herramienta basada en web, se facilita la publicación de las visualizaciones ya que solo se ocuparía de un navegador de internet para accederlas.

Se hace evidente cuán entretenido es poder movilizarse en el entorno VR, la posibilidad de desplazarse hasta el gráfico de interés y cómo se busca el ángulo correcto que permita la mejor interpretación de los resultados, esto refleja una gran fortaleza del diseño propuesto, así como la posibilidad que ofrece BabiaXR de integrar varios usuarios en el ambiente de forma simultánea. Este tipo de ambientes le da significado e importancia a las visualizaciones en 3D, ya que de lo contrario, es muy difícil interpretarlas correctamente a través de medios tradicionales 2D.

Así mismo, el proceso de desarrollo no es necesariamente el más accesible, en ocasiones por limitaciones de la herramienta o de la documentación se debieron descartar ideas ya que no fue posible desarrollar todo el elemento pensado, por ejemplo, mover de un lado a otro los elementos 3D en tiempo real, hacer cambios de colores, tipografías y tipos de gráficos (pensado implementar un menú aparte en el futuro) y el bajo número de visualizaciones debido a los recursos del equipo computacional porque entre más se generen más lento se comporta el ambiente.



Con respecto a los indicadores de educación del Banco Mundial y la información que proporcionan, se pueden apreciar las diferencias entre regiones geográficas en cuanto al acceso y la calidad de la educación, aunque es cierto que algunos indicadores no presentaban toda la información a lo largo de los años dependiendo del país, siempre es posible adaptar este mismo entorno a datos provenientes de otras fuentes.

Como se había mencionado, este proyecto no se adentra profundamente en el análisis de los datos, sino que se centra en la visualización de la información propiamente. Queda a criterio del usuario realizar el análisis que desee sobre los datos. Esta solución no se limita únicamente a indicadores de educación, sino a cualquier otro conjunto de datos que se quieran desplegar y adaptar a este “museo virtual”, esto hace que sea una solución universal. Lo que se busca es brindar una plataforma alternativa, accesible y con un elemento innovador, este siendo la realidad virtual, para la visualización y análisis de la información.

## VI. TRABAJO FUTURO

El presente proyecto hace uso de BabiaXR, librería creada y descrita por Moreno-Lumbreras et al. [1], la cual presentan algunas limitaciones en cuanto a los elementos disponibles para generar así como su documentación. Como parte del trabajo futuro, sería de gran interés crear una interfaz gráfica que permita de una manera más intuitiva la carga de datos, además de la ubicación, creación y modificación de los elementos en el entorno 3D, software de animación 3D como Blender o Unity presentan mayor capacidad para realizar lo indicado, de esta forma la solución sería aún más interactiva y quién la use se podría enfocar aún más a fondo en la información presentada por el ambiente virtual. Esto permitiría que lo gráficos también pueda hacerse mucho más legibles y con mayores posibilidades.

Adicionalmente, la solución se podría complementar con aspectos como la inclusión de nuevos elementos, expandir BabiaXR con nuevos tipos de gráficos, la inclusión de sonidos que permitan agregar narraciones para facilitar la interpretación de resultados o manipulación de los componentes como tipo “drag and drop” para reubicarlos y así quitar por ejemplo algunos elementos que no se quieran ver mientras se explora la visualización, hasta inclusive la posibilidad de cambiar entre realidad virtual a realidad aumentada.

La librería empleada tiene un gran potencial y demuestra como es posible usar el VR para la creación de visualizaciones de una forma sencilla y accesible, ya se puede usar en cualquier tipo de dispositivo sin mayor problema, no obstante, se hace necesario continuar mejorando la calidad gráfica de las visualizaciones para hacerlo más atractivo y poder pensar en que sea adoptado con mayor facilidad, además es necesario llevar a cabo un proceso de experimentación con sujetos que permita realmente confirmar si este tipo de visualizaciones facilitan la interpretación de datos en casos de uso reales dentro de una empresa.

## VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las ventajas del uso de VR son evidentes, temas como la inmersión que transporta al usuario a un entorno en tres dimensiones, que da una sensación de realismo al estar interactuando con la información, explotar los controles también hace que la experiencia sean aún más enriquecedora e intuitiva, facilitando su exploración. Por otra parte la perspectiva espacial que proporciona la VR, facilita la comprensión de relaciones espaciales y patrones complejos, ya que los usuarios pueden explorar los datos desde diferentes ángulos y perspectivas, revelando información que no es fácil de ver en entornos 2D. Su acceso es sencillo, se puede emplear cualquier tipo de teléfono móvil y visores de VR desde los más avanzados hasta los que se realizan con cartón, por lo que es posible afirmar que es una plataforma universalmente accesible.

También, el hecho de contar con un entorno virtualmente infinito permite representar conjuntos de datos de gran tamaño sin limitaciones físicas, por lo menos hasta donde los recursos computacionales lo permitan, haciendo que la visualización sea más efectiva y amplia, permitiendo aplicar diferentes niveles de granularidad sin preocuparse por restricciones de escala o tamaño.

Eventualmente la colaboración es un aspecto importante, tener a varios usuarios que pueden compartir la experiencia de visualización de datos, interactuando y explorando conjuntamente en tiempo real, es una gran ventaja, facilita la comunicación y promueve la colaboración al permitir la discusión y el intercambio de ideas entre los usuarios, en una forma de telepresencia.

Emplear VR genera expectativa y tiene el potencial representar una experiencia emocionalmente impactante al visualizar datos, ya que hace uso de varios sentidos, como la visión, el oído y la sensación (con su respectivo hardware), puede resultar en una experiencia más memorable y cautivadora, lo que eventualmente se traduce en una forma de transmitir la información de manera efectiva.

Se considera que es un campo que debe seguirse explorando y hacerlo más accesible y fácil de implementar, con el objetivo de sacar un mayor beneficio de sus virtudes.

## REFERENCES

- [1] D. Moreno-Lumbreras, J. M. Gonzalez-Barahona, and A. Villaverde, “Babixr: Virtual reality software data visualizations for the web,” in *2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*, 2022, pp. 71–74.
- [2] A. Shaikh, L. Nguyen, A. Bahremand, H. Bartolomea, F. Liu, V. Nguyen, D. Anderson, and R. LiKamWa, “Coordinate: A spreadsheet-programmable augmented reality framework for immersive map-based visualizations,” in *2019 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality (AIVR)*, 2019, pp. 134–1343.
- [3] D. Qiu, C. Ow, X. Xia, J. Q. Yeo, J. Xia, M. Y. Hean Low, Z. Wang, A. T. Shoon Chan, and F. Y. Guan, “Vicollar: A novel system for 3d data visualization using collaborative augmented reality,” in *2022 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct)*, 2022, pp. 907–908.
- [4] S. Bimonte, E. Edoh-Alove, and F. A. Coulibaly, “Map4olap: A web-based tool for interactive map visualization of olap queries,” in *2021 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, 2021, pp. 3747–3750.

- [5] M. Lupei, M. Shlahta, O. Mitsa, Y. Horoshko, H. Tsybko, and V. Gorbachuk, "Development of an interactive map within the implementation of actual state and public directions," in *2022 12th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT)*, 2022, pp. 384–387.
- [6] B. Enyew, K. Odubela, S. Jiang, and L. Davis, "An interactive dashboard to study the impact of hurricane florence on food bank operations," in *2020 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)*, 2020, pp. 1173–1178.
- [7] A. M. O. Abdelsamad and A. Z. Karrar, "An interactive dashboard for monitoring the spread of covid-19 in sudan," in *2020 International Conference on Computer, Control, Electrical, and Electronics Engineering (ICCCEEE)*, 2021, pp. 1–6.
- [8] B. Byl, M. Sünksen, and M. Teistler, "A serious virtual reality game to train spatial cognition for medical ultrasound imaging," in *2018 IEEE 6th International Conference on Serious Games and Applications for Health (SeGAH)*, 2018, pp. 1–4.
- [9] A. Bayyari and M. E. Tudoreanu, "The impact of immersive virtual reality displays on the understanding of data visualization," in *Proceedings of the ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*, ser. VRST '06. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2006, p. 368–371. [Online]. Available: <https://doi-org.ezproxy.itcr.ac.cr/10.1145/1180495.1180570>
- [10] C. B. Berti, F. L. S. Nunes, A. C. Sementille, J. R. F. Brega, I. Rodello, and R. Takashi, "Information visualization: Using virtual reality techniques in the three-dimensional representation of data from a medical images database," in *Proceedings of the 2004 ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual Reality Continuum and Its Applications in Industry*, ser. VRCAI '04. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2004, p. 152–154. [Online]. Available: <https://doi-org.ezproxy.itcr.ac.cr/10.1145/1044588.1044617>
- [11] B. Hentschel, M. Wolter, and T. Kuhlen, "Virtual reality-based multi-view visualization of time-dependent simulation data," in *2009 IEEE Virtual Reality Conference*, 2009, pp. 253–254.
- [12] X. Luo, W. Wu, C. Zúñiga-Cañón, and C. Lozano-Garzón, "From great wall to the andes: Sino-latin america collaborations on urban computing, virtual reality, and visualization research," in *2016 International Conference on Virtual Reality and Visualization (ICVRV)*, 2016, pp. 346–349.
- [13] S. Sua, A. Chaudhary, P. O'Leary, B. Geveci, W. Sherman, H. Nieto, and L. Francisco-Revilla, "Virtual reality enabled scientific visualization workflow," in *2015 IEEE 1st Workshop on Everyday Virtual Reality (WEVR)*, 2015, pp. 29–32.
- [14] E. Goetschel, J. Sekaran, W. Ren, M. He, N. Ogbonnaya, M. Nkereuwem, I. Mapfunde, C. Martin, C. Cogburn, and S. Feiner, "Coviz: Visualization of effects of covid-19 on new york city through socially impactful virtual reality," in *2021 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)*, 2021, pp. 703–704.
- [15] R. D. Malaquias, C. Eduardo Paiva, and R. Bueno, "Visualization of similarity queries in an immersive virtual reality environment," in *2020 24th International Conference Information Visualisation (IV)*, 2020, pp. 86–91.
- [16] S. Thanyadit, P. Punpongsanon, and T.-C. Pong, "Investigating visualization techniques for observing a group of virtual reality users using augmented reality," in *2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, 2019, pp. 1189–1190.
- [17] Z. Lyu, J. Li, and B. Wang, "Aiive: Interactive visualization and sonification of neural networks in virtual reality," in *2021 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality (AIVR)*, 2021, pp. 251–255.
- [18] S. Gebhardt, S. Pick, H. Voet, J. Utsch, T. al Khawli, U. Eppelt, R. Reinhard, C. Büscher, B. Hentschel, and T. W. Kuhlen, "flapassist: How the integration of vr and visualization tools fosters the factory planning process," in *2015 IEEE Virtual Reality (VR)*, 2015, pp. 181–182.
- [19] [Online]. Available: <https://fonts.google.com/specimen/Archivo/about>
- [20] "World bank open data." [Online]. Available: <https://data.worldbank.org/country/costa-rica>
- [21] C. Hidalgo, "Big data visualization engines for understanding the development of countries, social networks, culture and cities," in *Proceedings of the 25th ACM Conference on Hypertext and Social Media*, ser. HT '14. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2014, p. 3. [Online]. Available: <https://doi-org.ezproxy.itcr.ac.cr/10.1145/2631775.2631812>
- [22] L. Xu, "Exploring visualization of data transforms," in *Proceedings of the 2016 International Conference on Management of Data*, ser. SIGMOD '16. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2016, p. 2263–2264. [Online]. Available: <https://doi-org.ezproxy.itcr.ac.cr/10.1145/2882903.2914837>
- [23] H. R. Aung T, Niyeha D, "Leveraging data visualization to improve the use of data for global health decision-making," in *Leveraging data visualization to improve the use of data for global health decision-making*. New York, NY, USA: J Glob Health, 2019. [Online]. Available: <https://doi.org/10.7189/jogh.09.020319>
- [24] P. J. Sackett, M. F. Al-Gaylani, A. Tiwari, and D. Williams, "A review of data visualization: opportunities in manufacturing sequence management," *International journal of computer integrated manufacturing*, vol. 19, no. 7, p. 689–704, 2006. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1080/09511920500504578>
- [25] B. Williamson, "Digital education governance: data visualization, predictive analytics, and 'real-time' policy instruments," *Journal of education policy*, vol. 31, no. 2, p. 123–141, 2016. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1080/02680939.2015.1035758>
- [26] [Online]. Available: <https://www.sutel.go.cr/informes-indicadores>
- [27] P. Millais, S. L. Jones, and R. Kelly, "Exploring data in virtual reality: Comparisons with 2d data visualizations," in *Extended Abstracts of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, ser. CHI EA '18. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2018, p. 1–6. [Online]. Available: <https://doi-org.ezproxy.itcr.ac.cr/10.1145/3170427.3188537>