

# Análisis Inmersivo con Interacción Natural para el Análisis de Tareas Colaborativas

1<sup>st</sup> Nelzon Jorge Apaza Apaza  
*Ciencia de la Computación*  
*Universidad Nacional de San Agustín*  
Arequipa, Perú  
napazaa@unsa.edu.pe

2<sup>nd</sup> Given Name Surname  
*dept. name of organization (of Aff.)*  
*name of organization (of Aff.)*  
City, Country  
email address or ORCID

**Abstract**—This document is a model and instructions for L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X. This and the IEEEtran.cls file define the components of your paper [title, text, heads, etc.]. \*CRITICAL: Do Not Use Symbols, Special Characters, Footnotes, or Math in Paper Title or Abstract.

**Index Terms**—component, formatting, style, styling, insert.

## I. INTRODUCCIÓN

A lo largo del tiempo, el análisis de datos nos ha permitido convertir la información en conocimiento. Siendo un factor clave la visualización en la exploración y el análisis. La analítica visual, dentro de la analítica de datos, se enfoca especialmente en combinar representaciones visuales interactivas con procesos de análisis de alto nivel para realizar actividades en la toma de decisiones.

Con el rápido crecimiento a gran escala y en dimensiones de los datos, el mayor desafío de las técnicas tradicionales en dimensiones 2D es poder visualizar gran cantidad de datos provenientes de diferentes fuentes de datos como sitios web, imágenes, documentos, etc. Que comunmente no tienen estructura y son complejas de analizar.

Por eso la Analítica Inmersiva combina el análisis de datos con tecnologías como la realidad virtual (VR), realidad aumentada (AR) y otras interfaces inmersivas, para que las personas puedan explorar, entender y tomar decisiones con datos de una forma más natural, intuitiva y envolvente [1]. Se tiene un interés creciente en estos entornos inmersivos por dos razones principales: el amplio espacio de visualización que ya no está limitado a una sola pantalla y la interacción natural que usa el cuerpo entero como una herramienta de análisis [2]. Mejorando no solo la experiencia del usuario, sino que permite llevar a cabo de manera más intuitiva diversas tareas de análisis, favoreciendo así una comprensión más profunda de los datos [3]–[8].

Los rápidos avances que se están dando en las tecnologías VR y AR, abre nuevas oportunidades interesantes para visualizar datos. Es muy probable que, en el futuro, los entornos donde colaboremos para analizar y comprender los datos cambien significativamente de entornos limitados como una pantalla [9]. Por consiguiente, el Análisis Inmersivo Colaborativo (CIA), que es el uso compartido de tecnologías de

interacción y visualización por más de una persona para apoyar el razonamiento analítico colaborativo y la toma de decisiones [1], [10], permite a los investigadores resolver tareas de análisis inmersivo dentro de conjuntos de datos complejos para aprender y tomar mejores decisiones de manera colaborativa dentro de entornos virtuales compartidos, usando la tecnología de realidad virtual como herramienta de visualización de datos, que es un campo emergente de investigación con perspectivas prometedoras. [7], [11].

Sin embargo, la mayoría de trabajos en entornos inmersivos colaborativos no se centran en establecer visualizaciones orientadas a la realización de tareas inmersivas colaborativas de análisis y exploración de datos con interacción natural. Hay trabajos que solamente buscan evaluar el rendimiento del entorno o probar cómo es la colaboración entre diferentes dispositivos como Tong et al. [12]–[14]. Como también hay trabajos que prueban la visualización en entornos inmersivos colaborativos o evalúan el comportamiento colaborativo, pero la desventaja de estos es que no se centran en tareas inmersivas colaborativas para el análisis visual, como por ejemplo Lee et al. [9], [15]. Otros trabajos se enfocan en mejorar la interacción del usuario con el entorno, pero no lo hacen de manera colaborativa, ni tampoco se enfocan en la realización de tareas de manera colaborativa [2], [16]–[18].

En este artículo proponemos una herramienta que permita a los usuarios realizar tareas de análisis y exploración de datos en ambientes virtuales inmersivos colaborativos con interacción natural. Primero veremos los trabajos relacionados que se revisarán, luego se verá nuestra propuesta, luego los experimentos y/o implementación realizada, luego daremos un análisis y discusión de resultados, finalmente nuestras conclusiones.

## II. TRABAJOS RELACIONADOS

La investigación en analítica inmersiva colaborativa ha generado diversas aproximaciones que proporcionan contexto valioso para nuestra propuesta. Entre los estudios más relevantes, Lee et al. [9] desarrollaron un prototipo que permite a múltiples usuarios crear y manipular visualizaciones de datos en entornos virtuales co-localizados. Su sistema admite movimiento libre en espacios compartidos y analiza patrones de comportamiento colaborativo durante tareas básicas de

visualización. Sin embargo, su enfoque principal se centra en observar dinámicas de grupo más que en facilitar procesos analíticos complejos, y ofrece funcionalidades limitadas para el análisis de datos heterogéneos como los que incluyen documentos PDF, imágenes o estructuras XML.

Otro trabajo significativo es el de Tong et al. [12], que compara configuraciones asimétricas (PC-VR) y simétricas (PC-PC) para visualización colaborativa utilizando el dataset VAST Challenge 2007 [19]. Aunque incorpora tareas analíticas, no diseña actividades colaborativas estructuradas donde los participantes asuman roles complementarios, perdiendo oportunidades para optimizar la distribución de carga cognitiva mediante estrategias de colaboración definidas. Una limitación similar se observa en el estudio de León et al. [11] con el VAST Challenge 2006, donde el potencial colaborativo queda subutilizado al no implementar mecanismos para la coordinación explícita de tareas.

Además de usar el dataset del VAST Challenge 2007 [19], en dicha competencia se premió a diferentes grupos por dar las respuestas correcta, pero el grupo de Chao et al. [20], además de dar las respuestas, dieron mucho más detalle del proceso colaborativo que tuvieron junto a las herramientas que usaron para lograr resolver el reto. Las fases de colaboración se dieron de la siguiente manera: Primero se dio la generación de información, donde trabajaron de forma individual al inicio, para evitar el pensamiento grupal (*groupthink*), luego categorizaron y codificaron los datos según nombres, lugares, eventos y otras etiquetas. Después de ello Compartieron sus hallazgos entre analistas usando herramientas como ATLAS.ti o mapas visuales de FreeMind. Luego de estas subtarefas, en segundo lugar, procedieron con la esquematización, creando diagramas basados en datos agrupados para así poder visualizar conexiones y patrones mediante redes con relaciones (nodos y conexiones con color según fuerza de relación) y temporalidad de eventos codificados por categoría. En tercer lugar, procedieron con el argumentado y ajuste de los esquemas, que lo realizaron evaluando hipótesis competitivas (aplicando el modelo de Heuer(hipótesis vs evidencias)). También mencionan las dificultades que tuvieron en esta fase, como la evidencia que solía soportar múltiples hipótesis y la frustración al eliminar hipótesis por falta de evidencia concluyente. Al final lograron eliminar hipótesis poco sólidas, generando así hipótesis más específicas y bien fundamentadas. En la cuarta y última fase procesieron con la Toma de decisiones, donde cosntruyeron una "hipótesis esqueleto" donde solo incluye hechos confirmados y deducciones sólidas, usan las visualizaciones anteriores para justificar la hipótesis final. Incluso realizan una discusión final cara a cara revisando las visualizaciones colectivas y llegando a un consenso para determinar la narrativa final y desarrollar el informe final, basado en: Visualizaciones, línea de tiempo, relaciones entre entidades y justificaciones argumentativas.

Por el lado de las técnicas de interacción, [16] introduce avances notables en creación de visualizaciones mediante gestos naturales, pero su marco no se extiende a contextos colaborativos ni al procesamiento de múltiples formatos de

datos simultáneos. De manera complementaria, [17] propone transformaciones 2D-3D para tareas visuales básicas, aunque sin considerar la coordinación multiusuario necesaria para análisis documentales complejos que involucren conjuntos heterogéneos. El trabajo de [18] sobre navegación en cuadernos computacionales presenta limitaciones análogas al restringirse a datos estructurados y omitir formatos como HTML o documentos escaneados.

### III. PROPUESTA

La herramienta propuesta implementa un entorno de realidad virtual colaborativo basado en el framework Ubiq, que permite a múltiples usuarios interactuar de manera natural con visualizaciones de datos complejos. Utilizando las capacidades nativas de Ubiq para la coordinación multiusuario y la interacción natural en Unity, el sistema integra un procesamiento multimodal con la transformación de diversos formatos de datos (imágenes, documentos PDF/DOC, noticias XML, blogs HTML, bases de datos CSV) en estructuras visualizables. Luego integra visualización adaptativa con la generación de representaciones 3D contextuales según el tipo de dato. Y luego se tiene la interacción colaborativa con la gestión sincronizada de acciones mediante reconocimiento de gestos y comandos vocales.

Como muestra la Figura 1, nuestra arquitectura consta de tres módulos principales integrados mediante Ubiq: como el módulo de ingestión que convierte los datos crudos (XML, CSV, PDF, etc.) en estructuras semánticas normalizadas, luego se tienen al módulo de análisis que realiza extracción de entidades y relaciones mediante NLP, generando grafos de conocimiento y finalmente se tiene al módulo de interacción que implementa los protocolos de Ubiq para la sincronización de estado en tiempo real, reconocimiento gestual compartido y manipulación colaborativa de objetos.

Esta integración permite a los usuarios Etiquetar colaborativamente fragmentos de texto mediante selección gestual, generar diagramas de red interactivos que muestran conexiones entre entidades, manipular conjuntamente visualizaciones mediante gestos naturales, explorar correlaciones espaciotemporales en espacio 3D compartido.

La elección de Ubiq como framework central permite aprovechar su arquitectura descentralizada para la gestión de sesiones colaborativas, mientras que su sistema de prefabs interactivos facilita la implementación de gestos naturales como selección mediante raycasting manual, escalado mediante pinch bimanual y navegación mediante desplazamiento físico.

El sistema soporta el análisis conjunto de documentos heterogéneos manteniendo consistencia entre las vistas de todos los participantes, optimizando así el descubrimiento colaborativo de patrones complejos.

### IV. EXPERIMENTOS Y RESULTADOS

#### A. Dataset y Configuración Experimental

El conjunto de datos utilizado corresponde al VAST Challenge 2007, cuya composición detallada se presenta en la

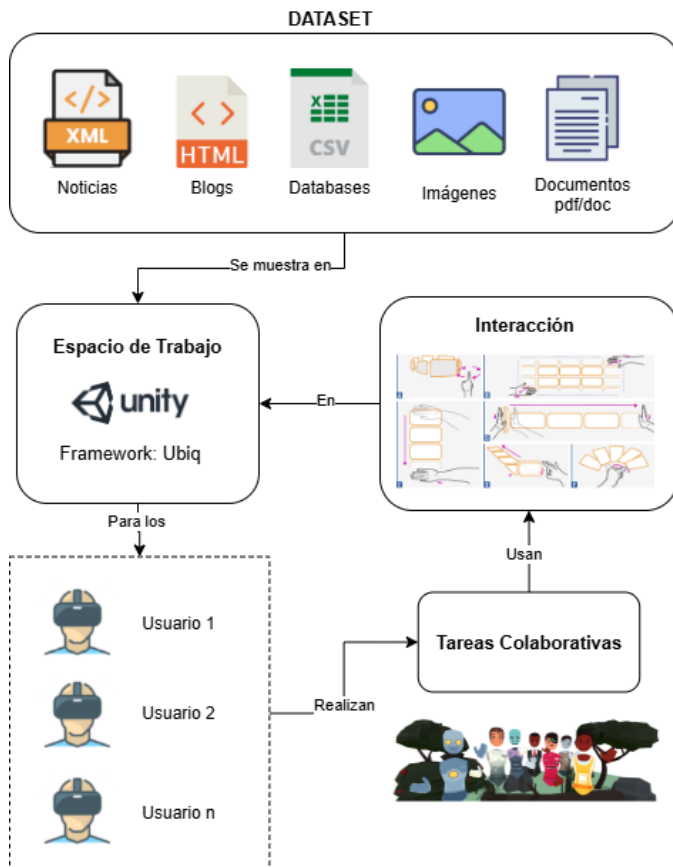


Fig. 1. Pipeline de procesamiento e interacción basado en Ubiq

Figura 2. Este repositorio contiene 1,445 elementos heterogéneos distribuidos en múltiples formatos: 782 noticias en formato XML, 210 blogs como documentos HTML, 153 imágenes en formatos JPG/PNG, 198 bases de datos estructuradas en CSV/XLS, y 102 documentos extensos en PDF/DOC. La naturaleza multimodal de este dataset presentó desafíos significativos durante la fase de implementación, particularmente en la integración coherente de diferentes formatos dentro de un entorno unificado. Se desarrollaron pipelines especializados para cada tipo de dato, implementando técnicas de extracción de metadatos y normalización semántica que permitieran una representación visual consistente.

Las tareas analíticas definidas por el desafío se centran en dos objetivos principales: primero, identificar la situación general mediante evaluación contextual de los eventos registrados; segundo, responder preguntas clave siguiendo el marco "quién, qué, dónde, cuándo, cómo y por qué". Estas tareas, diseñadas intrínsecamente para trabajo colaborativo, guiaron el desarrollo de nuestras visualizaciones especializadas para descubrimiento de información.

### B. Implementación de Visualización para Tareas Colaborativas

Se implementó un entorno inmersivo especializado para la tarea de "Descubrimiento y Exploración de Información" con

las siguientes capacidades clave:

La funcionalidad de codificación semántica permite etiquetar fragmentos de texto con categorías personalizadas (personas, eventos, temas) mediante selección gestual directa. Durante el desarrollo técnico, identificamos el desafío de selección precisa en textos complejos, resolviéndolo con un sistema de ampliación contextual que ajusta dinámicamente las áreas seleccionables. Esta característica está diseñada para soportar futuros escenarios donde múltiples usuarios colaboren en el etiquetado simultáneo.

La generación de diagramas de red produce visualizaciones interactivas de conexiones entre entidades etiquetadas. Como muestra la Figura 4, estos grafos permiten descubrir relaciones complejas mediante exploración espacial. Durante las pruebas técnicas, optimizamos el rendimiento mediante técnicas de nivel de detalle (LOD) para mantener fluidez incluso con estructuras complejas de más de 500 nodos.

### C. Entorno de Visualización Integrado

La Figura 3 presenta el espacio virtual desarrollado, diseñado desde sus fundamentos para soportar interacción colaborativa mediante la arquitectura de Ubiq. El sistema implementa mecanismos de conciencia espacial como indicadores de foco y sonidos direccionales, preparados para facilitar la coordinación cuando se integre el componente multiusuario.

La Figura 5 demuestra la interacción gestual con pizarras de imágenes, incorporando un sistema de reconocimiento adaptable que ajusta los umbrales de detección para diferentes tipos de gestos. Esta flexibilidad en la interacción natural es fundamental para futuras sesiones colaborativas donde usuarios con distintos estilos interactivos trabajen conjuntamente.

En la Figura 6, se observa el análisis integrado de documentos XML junto al grafo generado, mostrando cómo la fragmentación de noticias y su etiquetado semántico generan automáticamente representaciones relacionales. La interfaz está estructurada para permitir futuras operaciones colaborativas como comentarios compartidos o marcado colectivo.

### D. Desafíos Técnicos y Soluciones

Durante la implementación enfrentamos varios desafíos técnicos significativos como la integración de formatos heterogéneos con la coexistencia de XML, CSV, PDF e imágenes requirió desarrollar parsers especializados y un sistema de metadatos unificado. Luego esta el rendimiento de visualización con los grafos complejos inicialmente causaban caídas en la tasa de frames, solucionado mediante optimización de mallas y técnicas de instancing. La precisión en interacción gestual con la selección de elementos pequeños se mejoró con un sistema de ayuda contextual basado en proximidad. Y la gestión de estados compartidos que implementó un sistema preliminar de sincronización mediante operaciones transformadas, preparado para escalar a entornos multiusuario.

Esta implementación demuestra la viabilidad técnica de nuestro enfoque para el descubrimiento de información, estableciendo las bases para futuras evaluaciones colaborativas. La arquitectura desarrollada permite visualizar y correlacionar entidades dispersas en grandes volúmenes de datos

multimodales, mostrando especial potencial para identificar patrones ocultos mediante exploración espacial.

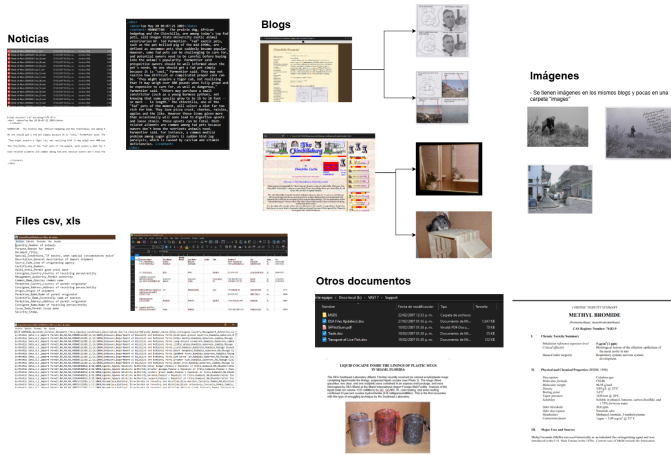


Fig. 2. Composición del dataset VAST Challenge 2007 con distribución por formatos

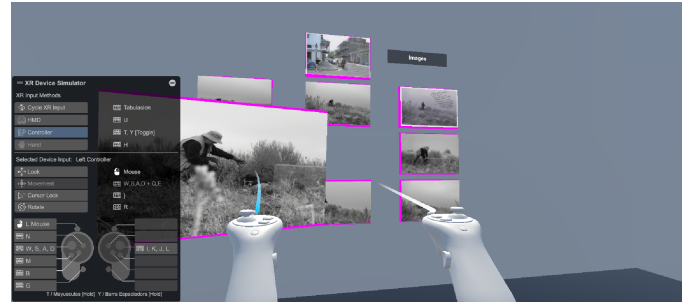


Fig. 5. Sistema de interacción gestual para manipulación de imágenes

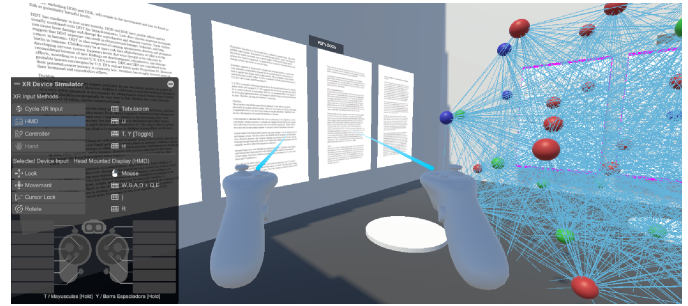


Fig. 6. Espacio integrado de análisis documental con generación de grafos

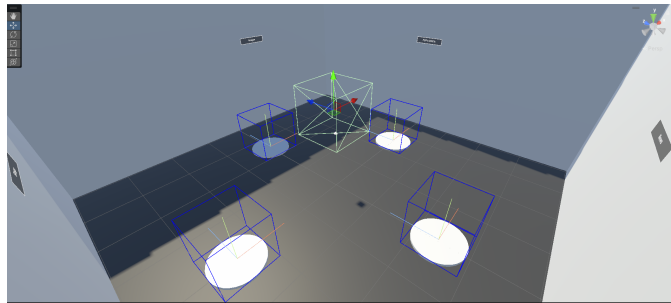


Fig. 3. Entorno virtual diseñado para soportar análisis colaborativo

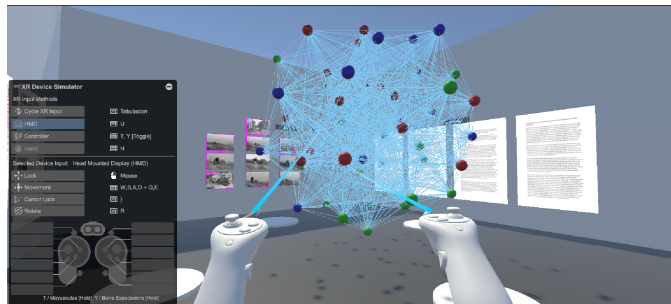


Fig. 4. Diagrama de red 3D generado a partir de entidades etiquetadas

## V. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El desarrollo del entorno inmersivo colaborativo se encuentra actualmente en una fase avanzada de integración, donde estamos conectando las visualizaciones de datos con los mecanismos de interacción natural dentro del espacio virtual compartido. Este proceso implica la sincronización precisa entre los módulos de representación visual 3D y los componentes de reconocimiento gestual y vocal, utilizando el

framework Ubiq como núcleo de coordinación multiusuario. Aunque aún no se ha realizado una evaluación formal con usuarios finales, el diseño arquitectónico se fundamenta en principios sólidos establecidos por investigaciones seminales en analítica inmersiva y colaborativa, lo que proporciona bases teóricas robustas para anticipar mejoras significativas en el análisis de datos comparado con enfoques tradicionales bidimensionales.

Nuestra propuesta aborda de manera directa limitaciones críticas identificadas en trabajos previos, particularmente la ausencia de enfoques específicos para tareas colaborativas estructuradas y la dependencia de interacciones artificiales mediante dispositivos intermediarios. La incorporación de gestos naturales y comandos vocales dentro de un entorno tridimensional compartido busca crear un ecosistema analítico donde la interfaz se desvanece, permitiendo a los usuarios concentrarse en la esencia de las tareas analíticas. Este enfoque promete facilitar una mayor fluidez en la exploración conjunta de conjuntos de datos complejos y heterogéneos, incluyendo documentos XML, CSV, PDF e imágenes, al eliminar barreras cognitivas asociadas con interfaces convencionales. La distribución dinámica de tareas entre colaboradores mediante asignación contextual de roles podría reducir sustancialmente la carga cognitiva individual, mientras que la representación espacial de relaciones multidimensionales ofrece oportunidades únicas para descubrir patrones ocultos mediante perspectivas cinéticas y correlaciones volumétricas.

Al contrastar nuestro enfoque con sistemas existentes, se evidencian diferencias fundamentales en la concepción del proceso analítico colaborativo. Mientras sistemas como el de Tong et al. [12] priorizan el estudio de configuraciones

tecnológicas asimétricas, o el de Lee et al. [9] se centran en patrones de comportamiento grupal sin estructurar tareas específicas, nuestro entorno se diseña meticulosamente para guiar a los usuarios en la resolución progresiva de problemas analíticos complejos mediante visualizaciones adaptativas que evolucionan según el contexto colaborativo. La integración con Ubiq permite implementar técnicas de colaboración mejoradas como la sincronización de estados de selección, la propagación contextual de acciones y la persistencia de artefactos analíticos, creando un flujo de trabajo continuo donde cada interacción contribuye a la construcción colectiva de conocimiento.

Una vez completada la implementación actual, que incluye módulos para etiquetado semántico colaborativo, generación de diagramas de red 3D y manipulación multimodal de documentos, se llevarán a cabo experimentos controlados diseñados para validar empíricamente estas ventajas teóricas. Estos estudios compararán sistemáticamente la eficiencia en tareas de descubrimiento de información, la precisión en identificación de relaciones complejas y la calidad de la experiencia de usuario entre nuestro sistema, soluciones basadas en escritorio y otros entornos inmersivos existentes. Las métricas incluirán no solo tiempos de ejecución y tasas de error, sino también indicadores de coordinación colaborativa como patrones de atención compartida, distribución equilibrada de participación y consistencia en modelos mentales colectivos, proporcionando así una evaluación holística del potencial transformador de nuestra propuesta.

## VI. CONCLUSIONES

Este trabajo presenta una solución inmersiva colaborativa para el descubrimiento y exploración de información, implementada mediante el framework Ubiq en Unity. La propuesta demuestra cómo la integración de capacidades multiusuario, interacción natural y procesamiento multimodal permite analizar eficientemente conjuntos de datos complejos y heterogéneos (XML, CSV, PDF, DOC, HTML e imágenes). Según lo implementado las contribuciones clave incluyen la implementación de un entorno colaborativo sincronizado que gestiona sesiones multiusuario, reconocimiento gestual compartido y manipulación conjunta de objetos. Luego el sistema de ingestión que transforma diversos formatos documentales (noticias XML, blogs HTML, bases de datos CSV, documentos PDF/DOC e imágenes) en estructuras semánticas visualizables. También el etiquetado colaborativo que es un mecanismo para codificar fragmentos de texto con metadatos personalizados (personas, eventos, temas) mediante selección gestual. Y la visualización de redes 3D con la generación automática de diagramas de red interactivos que revelan conexiones entre entidades etiquetadas.

Como muestran las figuras 3 a 6, la solución permite la exploración espacial conjunta de relaciones complejas mediante diagramas de red manipulables gestualmente. Luego el análisis paralelo de múltiples fuentes documentales en pizarras interactivas sincronizadas. Y la correlación visual entre fragmentos etiquetados y patrones emergentes en los

grafos. Las capacidades nativas de Ubiq para interacción natural (selección por raycasting, escalado bimanual, navegación física) combinadas con nuestras visualizaciones adaptativas, ofrecen ventajas significativas sobre enfoques tradicionales en tareas de descubrimiento de información.

Esta propuesta establece un nuevo estándar para el análisis colaborativo inmersivo de documentos heterogéneos, combinando la escalabilidad de Ubiq con técnicas avanzadas de visualización para potenciar el descubrimiento colaborativo de conocimiento.

## REFERENCES

- [1] A. Fonnet and Y. Prié, "Survey of immersive analytics," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 27, no. 3, pp. 2101–2122, 2021.
- [2] S. In, T. Lin, C. North, H. Pfister, and Y. Yang, "This is the table i want! interactive data transformation on desktop and in virtual reality," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 30, no. 8, pp. 5635–5650, 2024.
- [3] T. Dwyer, K. Marriott, T. Isenberg, K. Klein, N. Riche, F. Schreiber, W. Stuerzlinger, and B. H. Thomas, *Immersive Analytics: An Introduction*, K. Marriott, F. Schreiber, T. Dwyer, K. Klein, N. H. Riche, T. Itoh, W. Stuerzlinger, and B. H. Thomas, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2018. [Online]. Available: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-01388-2\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-01388-2_1)
- [4] B. Ens, B. Bach, M. Cordeil, U. Engelke, M. Serrano, W. Willett, A. Prouzeau, C. Anthes, W. Büschel, C. Dunne, T. Dwyer, J. Grubert, J. H. Haga, N. Kirshenbaum, D. Kobayashi, T. Lin, M. Olaosebikan, F. Pointecker, D. Saffo, N. Saquib, D. Schmalstieg, D. A. Szafir, M. Whitlock, and Y. Yang, "Grand challenges in immersive analytics," in *Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, ser. CHI '21. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2021. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/3411764.3446866>
- [5] D. Saffo, S. Di Bartolomeo, T. Crnovrsanin, L. South, J. Raynor, C. Yildirim, and C. Dunne, "Unraveling the design space of immersive analytics: A systematic review," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 30, no. 1, p. 495–506, Jan. 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/TVCG.2023.3327368>
- [6] M. Kraus, K. Klein, J. Fuchs, D. A. Keim, F. Schreiber, and M. Sedlmair, "The value of immersive visualization," *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 41, no. 4, pp. 125–132, 2021.
- [7] F. A. Nafis, A. Rose, S. Su, S. Chen, and B. Han, "Are we there yet? unravelling usability challenges and opportunities in collaborative immersive analytics for domain experts," in *HCI International 2024 – Late Breaking Papers: 26th International Conference on Human-Computer Interaction, HCII 2024, Washington, DC, USA, June 29 – July 4, 2024, Proceedings, Part IV*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2024, p. 159–181. [Online]. Available: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-76812-5\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-031-76812-5_12)
- [8] N. A. B. Jamaludin, F. B. Mohamed, C. V. Siang, L. J. Heng, and M. S. B. Sunar, "A derived framework for immersive analytics: Use cases in smart city and pokémon interactive data visualization," in *2024 IEEE International Conference on Computing (ICOCO)*, 2024, pp. 434–439.
- [9] B. Lee, X. Hu, M. Cordeil, A. Prouzeau, B. Jenny, and T. Dwyer, "Shared surfaces and spaces: Collaborative data visualisation in a co-located immersive environment," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 27, no. 2, pp. 1171–1181, 2021.
- [10] M. Billingham, M. Cordeil, A. Bezerianos, and T. Margolis, *CollaborativeImmersiveAnalytics*. Cham: Springer International Publishing, 2018, pp. 221–257. [Online]. Available: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-01388-2\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-030-01388-2_8)
- [11] G. M. Leon, A. Bezerianos, O. Gladin, and P. Isenberg, "Talk to the Wall: The Role of Speech Interaction in Collaborative Visual Analytics," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 31, no. 01, pp. 941–951, Jan. 2025. [Online]. Available: <https://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/TVCG.2024.3456335>

- [12] W. Tong, M. Xia, K. K. Wong, D. A. Bowman, T.-C. Pong, H. Qu, and Y. Yang, "Towards an understanding of distributed asymmetric collaborative visualization on problem-solving," in *2023 IEEE Conference Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, 2023, pp. 387–397.
- [13] V. Bréhault, E. Dubois, A. Prouzeau, and M. Serrano, "A systematic literature review to characterize asymmetric interaction in collaborative systems," in *Proceedings of the 2025 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, ser. CHI '25. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2025. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/3706598.3713129>
- [14] J. Friedl-Knirsch, C. Stach, F. Pointecker, C. Anthes, and D. Roth, "A study on collaborative visual data analysis in augmented reality with asymmetric display types," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 30, no. 5, p. 2633–2643, May 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/TVCG.2024.3372103>
- [15] A. Lammert, G. Rendle, F. Immohr, A. Neidhardt, K. Brandenburg, A. Raake, and B. Froehlich, "Immersive study analyzer: Collaborative immersive analysis of recorded social vr studies," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 30, no. 11, p. 7214–7224, Nov. 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/TVCG.2024.3456146>
- [16] Q. Zhu, T. Lu, S. Guo, X. Ma, and Y. Yang, "Compositingvis: Exploring interactions for creating composite visualizations in immersive environments," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 31, no. 1, p. 591–601, Jan. 2025. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1109/TVCG.2024.3456210>
- [17] B. Lee, M. Cordeil, A. Prouzeau, B. Jenny, and T. Dwyer, "A design space for data visualisation transformations between 2d and 3d in mixed-reality environments," in *Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, ser. CHI '22. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/3491102.3501859>
- [18] S. In, E. Krokos, K. Whitley, C. North, and Y. Yang, "Evaluating navigation and comparison performance of computational notebooks on desktop and in virtual reality," in *Proceedings of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, ser. CHI '24. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1145/3613904.3642932>
- [19] G. Grinstein, C. Plaisant, S. Laskowski, T. O'Connell, J. Scholtz, and M. Whiting, "Vast 2007 contest - blue iguanodon," in *2007 IEEE Symposium on Visual Analytics Science and Technology*, 2007, pp. 231–232.
- [20] W. Chao, D. Ha, K. Ho, L. Kaastra, M. Kim, A. Wade, and B. Fisher, "University of british columbia simon fraser university - the bricolage," in *2007 IEEE Symposium on Visual Analytics Science and Technology*, 2007, pp. 207–208.