



Integración espacial de contenidos en entornos de realidad extendida*

Luis Eduardo Bautista^a ■ Fernanda Maradei^b ■ Gabriel Pedraza^c

Resumen: La realidad extendida es un conjunto de tecnologías inmersivas de la Cuarta Revolución Industrial que incluyen la realidad virtual, la realidad mixta y la realidad aumentada, y que son usadas en entornos inmersivos de aprendizaje. Sin embargo, para garantizar la utilidad de estas tecnologías se debe conocer el impacto de los principios multimedia que garantizan la integración espacial de la información, especialmente en entornos virtuales 3D, dado que estos son principios que buscan que el aprendiz use adecuadamente sus recursos cognitivos. Con el propósito de identificar la forma en que los mismos son usados y cómo influyen en la integración espacial de contenido en entornos de realidad extendida, se realizó una revisión sistemática de información. Los resultados muestran la influencia de tres características asociadas a las diferencias entre usuarios, permitiendo establecer un conjunto de técnicas que fomentan la integración espacial y proponer una taxonomía. Finalmente, se identificaron atributos de configuración del entorno virtual 3D y su influencia en la carga cognitiva de los aprendices. Estos resultados pueden orientar la aplicación de los principios de la teoría de la carga cognitiva en el diseño de entornos de realidad extendida para el aprendizaje y entrenamiento.

Palabras clave: aprendizaje; carga cognitiva multimedia; entrenamiento; realidad aumentada; realidad mixta; realidad virtual

Recibido: 24/05/2023 **Aceptado:** 18/08/2023 **Disponible en línea:** 27/12/2023

Cómo citar: L. E. Bautista, F. Maradei, y G. Pedraza, «Integración espacial de contenidos en entornos de realidad extendida», Cien.Ing.Neogranadina, vol. 33, n.º 2, pp. 23–38. Diciembre 2023.

* Artículo de revisión.

a Ph. D.(c) en ciencias de la computación, profesor asociado, Universidad Industrial de Santander UIS, Bucaramanga, Colombia.

Correo electrónico: lueduba@uis.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5852-311X>

b Ph. D. en ingeniería, profesora titular, Universidad Industrial de Santander UIS, Bucaramanga, Colombia.

Correo electrónico: mafermar@uis.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6263-586X>

c Ph. D. en informática, profesor titular, Universidad Industrial de Santander UIS, Bucaramanga, Colombia.

Correo electrónico: gpedraza@uis.edu.co ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4706-1540>

Spatial Integration of Content in Extended Reality Environments

Abstract: Extended reality is a set of immersive technologies of the Fourth Industrial Revolution, including virtual reality, mixed reality, and augmented reality, used in immersive learning environments. However, to ensure the utility of these technologies, it is essential to understand the impact of multimedia principles that ensure spatial integration of information, especially in 3D virtual environments. These principles aim to facilitate the learner's proper use of cognitive resources. To identify how these principles are used and their influence on the spatial integration of content in extended reality environments, a systematic review of information was conducted. The results demonstrate the influence of three characteristics associated with user differences, allowing the establishment of a set of techniques that promote spatial integration and proposing a taxonomy. Finally, attributes of 3D virtual environment configuration and their influence on learners' cognitive load were identified. These findings can guide the application of cognitive load theory principles in the design of extended reality environments for learning and training.

Keywords: Learning; Multimedia Cognitive Load; Training; Augmented Reality; Mixed Reality; Virtual Reality

Introducción

La realidad extendida es un conjunto de tecnologías muy usado por la capacidad de crear entornos (reales y virtuales) para práctica y por proporcionar información localizada, espacialmente durante un entrenamiento [1], [2]. Por esto, varios estudios coinciden en su utilidad para proporcionar información procedimental y de soporte durante el entrenamiento [3], [4], [5], especialmente en entornos inmersivos de aprendizaje [6]. Según Lebel [7] y Gavish [8], la información proporcionada mejora el desempeño del aprendiz, ya que le brinda apoyo inicial durante la fase de aprendizaje y automatización. Además, Spruit [9] la menciona como un componente fundamental durante el entrenamiento, ya que garantiza condiciones adecuadas para el aprendizaje. Sin embargo, la inadecuada presentación de información puede sobrecargar la memoria de trabajo del aprendiz, al reducir los recursos cognitivos disponibles para el aprendizaje [10], [11]. Por esto, [12] y [13] afirman que el principio de atención dividida es importante para evitar los continuos cambios de atención. Este principio establece que los alumnos deben evitar dividir la atención visual entre múltiples fuentes de información para garantizar la integración mental. Aplicar esto representa algunos desafíos, como la selección del formato de presentación [12], [14] y la localización de espacios de información [15], [16]. De otro lado, otros principios como la señalización [17] se aplican para conducir la atención durante el aprendizaje, pero la información encontrada está segmentada, por lo que, a pesar del amplio uso de estas tecnologías, pocos estudios las han evaluado desde la perspectiva del aprendizaje multimedia y la carga cognitiva [18]. Por esto, García-San Juan [19] afirma que aún se desconocen los efectos en el aprendiz de la separación y presentación múltiple de fuentes de información. Finalmente, Rashid [20] afirma la necesidad de ampliar el estudio del efecto de atención dividida y distribución de la información, para reducir los cambios de atención visual del aprendiz. En conjunto, lo descrito anteriormente limita la aprehensión de información por parte de los aprendices en un entorno de realidad aumentada, ya que el aprendiz usa inadecuadamente sus recursos cognitivos debido a la

mala configuración de la interfaz gráfica. Con el propósito de diseñar mejores interfaces de usuario para entornos inmersivos de aprendizaje que usen realidad extendida para lograr la integración espacial de contenido, en este estudio se busca identificar los elementos de configuración de los espacios de información presentados en la interfaz gráfica de usuario que pueden ser utilizados para reducir la carga cognitiva de los aprendices. A fin de responder a esta pregunta, se realizó una revisión sistemática de literatura, con el objeto de analizar estudios que aplicaron realidad aumentada en el aprendizaje. En el apartado 1 de este trabajo se presentan los materiales y métodos usados en la revisión; en el apartado 2, se describen en detalle los resultados; finalmente, en el apartado 3 se discuten dichos resultados y se establecen las conclusiones.

Materiales y métodos

Para conducir esta revisión, se siguió la metodología propuesta por Kossyva [21]. El objetivo de este estudio es identificar la forma en que se aplica el principio de contigüidad espacial en materiales de instrucción para tecnologías interactivas, además de los atributos de la interfaz de usuario que se aplican para poder implementar la contigüidad espacial y las características de los usuarios que afectan el desempeño durante la ejecución del aprendizaje.

Se utilizaron las PICOC (*population, intervention, comparison, outcomes y context*, en inglés) para delimitar la revisión.

- **Población/tipología:** artículos, capítulos de libros, memorias de eventos y tesis doctorales.
- **Intervención:** estudios experimentales con usuarios que evalúen: desempeño, carga cognitiva, esfuerzo mental.
- **Comparación:** ninguna comparación de intervención.
- **Outcomes:** conjunto de trabajos que definan características de interfaz de usuario en: desempeño (tiempos, número de errores), carga cognitiva, esfuerzo mental.
- **Contexto/nivel de cobertura:** artículos en inglés y español publicados a partir de 1990.

Tabla 1. Agrupación de palabras clave

Efecto cognitivo	Actividad del usuario	Tecnología	Diferencias entre usuarios	Principio de reducir CC
Cognitive load	Learning	Virtual reality	User characteristics	Proximity
Extrinsic cognitive load	Training	Augmented reality	User differences	Contiguity
Split attention	Procedural information	Mixed reality	User abilities	Layout
Workload				Localization
Visual focus				

Ecuación de búsqueda

Nota: (TI=(“Cognitive Load” OR “Extrinsic Cognitive load” OR “Split Attention” OR “Workload” OR “Visual Focus” AND learning OR Training OR “procedural information” AND “augmented reality” OR “mixed reality” OR “Virtual Reality” AND “user differences” OR “user abilities” OR “User characteristics” AND Proximity OR Contiguity OR Layout OR Localization))

Fuente: elaboración propia.

Se obtuvo un listado de 18 términos de búsqueda agrupados en cuatro categorías, tal como se observa en la tabla 1. Finalmente, se construyó una ecuación de búsqueda usando conectores booleanos AND, OR y NOT. La ecuación de búsqueda fue usada en tres bases de datos multidisciplinarias: LENS, ACM, Scopus, con una ventana de tiempo entre 1990 y 2022. LENS es el proyecto insignia de la empresa social Cambia, el cual busca obtener, fusionar y vincular diversos conjuntos de conocimientos abiertos, incluidos trabajos académicos y patentes. ACM (Digital Library) es la librería digital de la Association for Computing Machinery (ACM) y contiene *journals*, conferencias, revistas técnicas y libros, entre otros. Scopus es una base de datos de referencias bibliográficas y citas de la empresa Elsevier, de literatura *peer-review* y contenido web de calidad, con herramientas para el seguimiento, análisis y visualización de la investigación. La búsqueda en estas bases de datos arrojó un total de 4679 resultados, a partir de los siguientes criterios de inclusión aplicados a los títulos y resúmenes: a) estudios escritos en español o inglés; b) estudios que evaluaron carga cognitiva, carga mental, esfuerzo mental, desempeño o aprendizaje; c) estudios que evaluaron prototipos o material de instrucción orientado al aprendizaje y entrenamiento; d) estudios que usaron dispositivos de visualización, dispositivos de escritorio, *head-mounted displays*, para entornos de realidad aumentada, mixta y virtual; e) estudios con población entre 15 y 50 años.

Resultados

Los resultados muestran que algunos estudios evaluaron el principio de contigüidad espacial en formatos de instrucción, otros evaluaron propiedades de los entornos virtuales para entregar información instruccional, y otros más identificaron características de los usuarios y su influencia en el desempeño y uso de material instruccional.

Impacto de las diferencias entre usuarios

Estudios cuyo objetivo fue evaluar características del usuario en el uso de material de instrucción e interacción con tecnologías inmersivas. A continuación, se relacionan los principales hallazgos relacionados con las diferencias entre usuarios:

- **Habilidad espacial (HE):** con base en la teoría de la carga cognitiva, varios estudios en diversos campos han intentado confirmar o desmentir el supuesto de que los usuarios con alta HE pueden manejar mejor su exposición a un estímulo visualmente complejo y mantener un nivel de esfuerzo mental bajo, en comparación con los usuarios que poseen HE baja [22], [23], [24], [25], [26], [27]. [28], [29]. En la tabla 2 se relacionan los principales efectos en el esfuerzo mental y el desempeño.
- **Conocimiento previo (CP):** el CP influye de varias formas, sobre todo en la eficacia del formato de integrado [30], lo cual es especialmente

Tabla 2. Habilidad espacial

Diferencia entre usuarios	Esfuerzo mental		Desempeño	
	Efecto	Característica	Efecto	Característica
Habilidad espacial – alto	Reducción [3] [4]	Proximidad espacial	Aumento en retención y aprendizaje[8]	Uso de representación pictórica
	Reducción [7]	Uso de indicaciones visuales	Aumento en precisión de la tarea [5]	Uso de representaciones estáticas
Habilidad espacial - bajo	Reducción [3] [4]	Uso de contigüidad espacial	Aumento en aprendizaje usando [6]	Uso de material segmentado, animaciones e indicaciones visuales
	Reducción [8]	Uso de codificación color		
	Reducción [9] [5]	Uso de indicaciones animadas		

Fuente: elaboración propia.

más útil para los estudiantes con CP bajo [16], [31], ya que evita los cambios de atención que se generan en la búsqueda de información. Finalmente, se evidencia que el bajo CP puede definir aspectos como la necesidad de integración espacial de información, un mayor tiempo para el desarrollo de la tarea, e indicadores visuales que reduzcan la búsqueda de información [32], [33], entre otros.

- *Memoria de trabajo visual (MTV):* los estudios revisados evidenciaron que las personas con alta MTV prefirieron visualizaciones más concretas [34], y viceversa, las personas con baja MTV las prefirieron más sencillas [35]. Esta diferencia también afecta el *layout* de la información, evidenciando que las personas con

baja MTV tuvieron mejores resultados con información dispuesta de manera horizontal [33]. A pesar de estos indicios, aún no se evidencian estudios que analicen a profundidad el efecto de la MTV en el aprendizaje.

- *Taxonomía de técnicas para fomentar la integración del contenido:* se clasificaron las técnicas identificadas en una taxonomía bajo el criterio de extensión del contenido (ver figura 1).
- *Técnicas para el manejo de contenidos cortos y largos:* a su vez, las técnicas para el contenido corto se clasifican dependiendo del uso de la proximidad entre contenido en: con proximidad, teniendo en cuenta la distancia de separación física entre las fuentes de contenido; y no proximidad, que fundamenta la integración

Tabla 3. Conocimiento previo

Diferencia entre usuarios	Esfuerzo mental		Desempeño	
	Efecto	Característica	Efecto	Característica
Conocimiento previo - alto			Aumento de tiempo de tarea [15]	Uso de extracción de información
Conocimiento previo - bajo	Reducción [13]	Uso de contigüidad espacial	Reducción. Mayor tiempo de tarea y errores [12], [10]	Mayor proximidad
	Aumento [12]	Uso de alta densidad de información	Aumento [11]	Uso de proximidad física y etiquetas
	Reducción [11]	Uso de proximidad física	Aumento de resultados de aprendizaje [14]	Proximidad física
			Aumento. Reducción errores [14], [10]	Uso de proximidad física Uso de etiquetado

Fuente: elaboración propia.

mediante otros atributos, como la conexión continua y la conexión simbólica.

- *Aplicación de la contigüidad espacial*: se identificaron las principales técnicas para reducir la carga cognitiva mediante la reducción del procesamiento (figura 2), las cuales explotaron la cercanía entre fuentes de información como mecanismo para la integración, así: la *integración física por proximidad* [36] usa la cercanía física entre las fuentes de información para fomentar la asociación [37], [38], mientras que la *integración activa* incentiva la interacción del usuario para realizar la tarea de integrar espacialmente la información [39],[40].

Sin embargo, considerando que en el diseño de la interfaz no siempre es posible aplicar estas técnicas, también se identificaron otras que aprovechan la conexión continua y la conexión simbólica, como mecanismo para fomentar la asociación de contenido:

- *Conexión continua*: aprovecha el uso de un elemento visual, como una línea, para conectar las fuentes de información, independientemente de su cercanía física (figura 3).
 - ▣ *Etiquetado*: se usan elementos visuales como líneas continuas, punteadas, etc., para conectar las fuentes de información [24], [41], [42].
- *Conexión simbólica*: aprovecha el uso de elementos visuales con significancia simbólica en ambas fuentes de información, para fomentar la asociación de las fuentes (figura 3).
 - ▣ *Referenciación*: aplicando el uso de referencias sencillas en formato textual que permitieran la asociación entre el contenido.
 - ▣ *Codificación*: aprovechando el uso del color [43] y la forma en las fuentes de información que se desean relacionar.

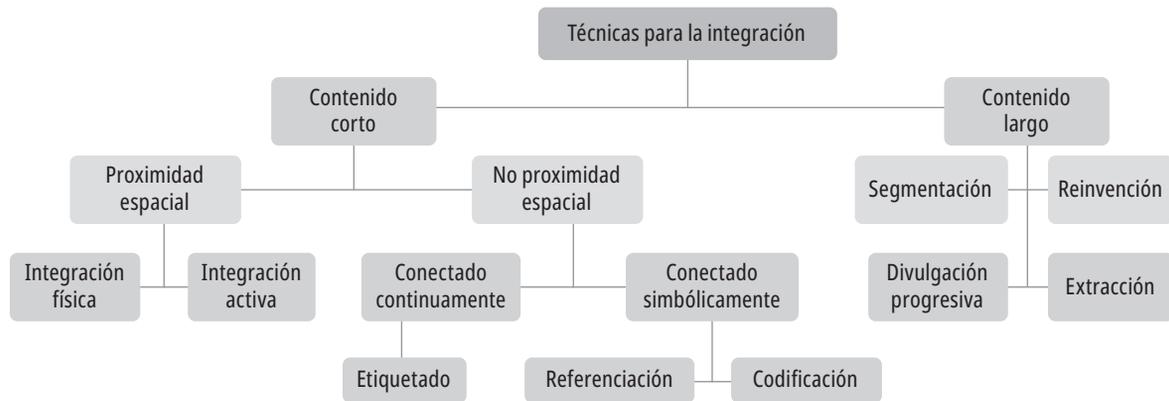


Figura 1. Técnicas para fomentar la integración de contenido

Fuente: elaboración propia.

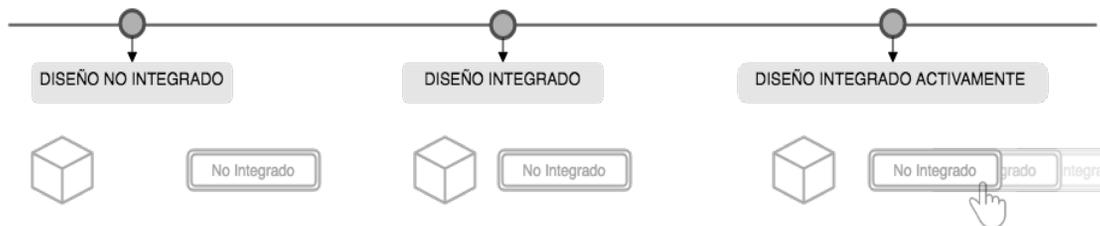


Figura 2. Formatos de diseño para integración espacial

Fuente: elaboración propia.

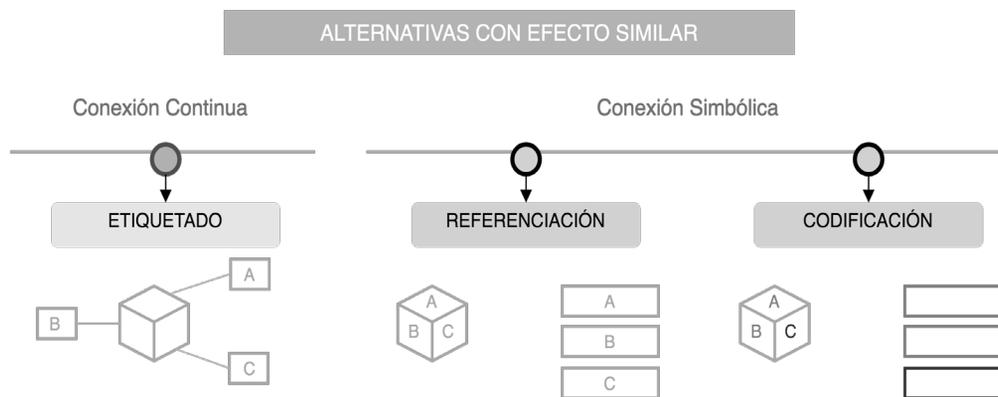


Figura 3. Técnicas de integración alternativa

Fuente: elaboración propia.

Todas estas técnicas logran una disminución de la carga cognitiva [24], pero presentan una debilidad evidenciada en la cantidad de contenido que pueden soportar sin sobrecargar de información al usuario [44], por lo cual algunos investigadores han propuesto alternativas que logran el mismo propósito [45], [46]. Dentro de las técnicas identificadas están (figura 4):

- *Segmentación simple*: usada para dividir el contenido en partes más pequeñas [24], [44].
- *Divulgación progresiva*: usada para dividir el contenido en unidades más pequeñas y administrarlo progresivamente bajo demanda del usuario [40], [47].
- *Reinvención*: aplicando la minimización de una ventana con el contenido completo y usando un icono en el espacio de trabajo [48], [49].
- *Extracción*: aplica la diferenciación, según el usuario, del contenido relevante o irrelevante para la ejecución de la tarea [50], [51], [52].

Características de integración física

Se estableció la presencia de atributos de la interfaz de usuario, en esta técnica, relacionados con la organización de los espacios de información (figura 5) y con la configuración del entorno virtual.

Los espacios de información se organizan según los siguientes atributos:

- *Context switching (cs)*: conocido también como cambio de contexto, se establece como el cambio de enfoque que se presenta cuando un usuario modifica su atención sobre un elemento virtual y lo centra en uno real, y viceversa [52] (figura 6). El cs no afecta significativamente el desempeño del usuario en tareas de visualización que se presentan en distancias inferiores a 2 m y que no requieren interacción con el contenido [52], [53]. Sin embargo, en algunos estudios se reporta sobrecarga en la memoria de trabajo [54], lo que podría afectar el desempeño [55], ya que los usuarios compensaron el cs realizando

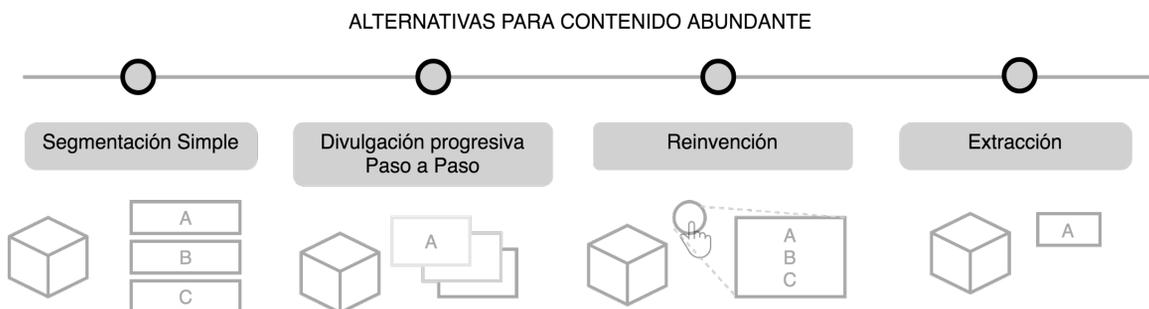


Figura 4. Alternativas para contenido largo

Fuente: elaboración propia.



Figura 5. Atributos de organización de los espacios de información

Fuente: elaboración propia.

más rápido las tareas, pero percibieron mayor esfuerzo mental, presión y frustración. En actividades que requirieron interacción en espacios cercanos al cuerpo, se observó un impacto significativo en la degradación del desempeño [54] y un aumento de la carga mental [56].

- *Proximidad física:* la proximidad física entre fuentes de información se establece como la cercanía en términos de distancia [57] (figura 7). Medida en grados angulares [57], se

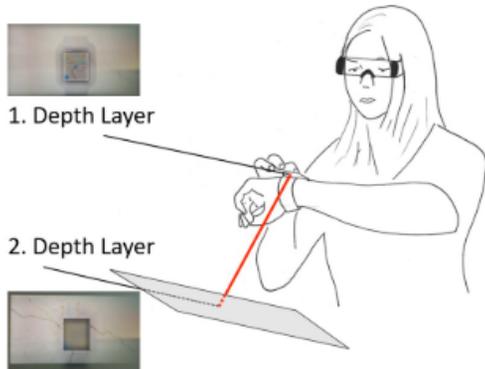


Figura 6. Context switching o cambio de contexto

Fuente: Eiberger [54].

identificó un impacto negativo en el tiempo de tarea y su precisión para separaciones superiores a 35° [58], con un comportamiento lineal del efecto [58]. Se estableció un ángulo de 27° como el óptimo de separación horizontal entre fuentes de información [59]. En los estudios revisados se evaluó la separación horizontal [44], pero no se identificó alguna evaluación para separación vertical. En dispositivos HMD, el tiempo y carga mental es menor [58], [60]. En tareas de alta frecuencia siempre fue preferida la distancia más corta [61].

- *Localización en el espacio:* la localización se definió con la ubicación y orientación con respecto a un sistema de referencia. Se identificó el uso de localizaciones *relativas* (arriba, abajo, izquierda y derecha) y *absolutas* entre fuentes de información [59], [62] - [65]: *in-situ* [66], aleatoria, *in-view* [67] [68]. Se identificó que la posición *absoluta in-situ* mejoró la precisión en la interacción, el tiempo de respuesta de la tarea y la carga mental, si bien esto está asociado a campos de visión (FOV, *field of view*) grandes [65]. Al contrario, para FOV pequeños, la

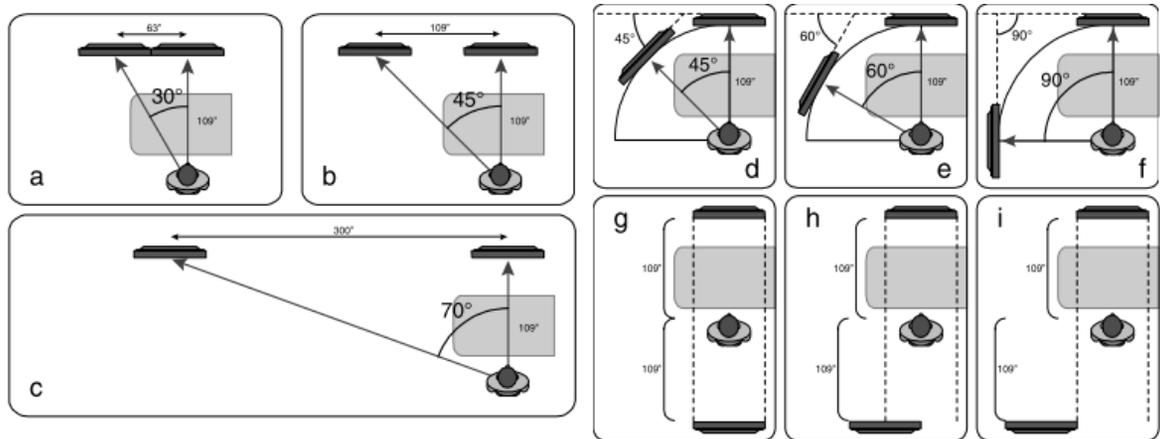


Figura 7. Las configuraciones físicas de distancia (a-c), ángulo (d-f) y simetría (g-i)

Fuente: Su & Bailey [58].

localización *in-view* mostró mejores resultados [64]. Con respecto a la orientación, las fuentes de información orientadas al usuario mostraron mejores resultados [63].

- **Contigüidad espacial:** la contigüidad espacial se define como la cercanía entre fuentes de información que fomentan la contigüidad del contenido [69] (figura 8). Se diferencié entre la *contigüidad de campo*, entendida como la separación de fuentes de información sobre el mismo plano visual (separado=discontiguo, cercano=contiguo), y la *contigüidad de profundidad*, entendida como la separación entre fuentes que involucran planos visuales localizados a diferentes profundidades [70] (igual profundidad=contiguo, profundidades diferentes=discontiguo) [52]. Las separaciones de profundidad tienen un impacto negativo, es decir que cuando hay diferencia de profundidades se presenta menor desempeño [52] y precisión en la tarea [54], además de que se incrementa significativamente la carga cognitiva percibida. Los autores sugieren no introducir discontigüidades de profundidad, debido a los efectos identificados [71].

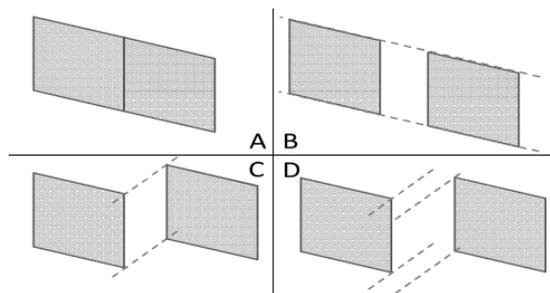


Figura 8. Factor de contigüidad de la pantalla: A) campo visual y profundidad contiguos; B) campo visual no contiguo y profundidad contigua; C) campo visual contiguo y profundidad no contigua; D) campo visual y profundidad no contigua

Fuente: Rashid [55].

- **Cantidad de pantallas:** se define como el número de espacios de información delimitados que se localizan dentro del espacio 3D. Se identificó una relación directa de incremento entre el número de pantallas y la carga cognitiva del usuario [55] [71].

- **Tamaño y layout:** el tamaño se refiere a las dimensiones físicas que delimitan un espacio de información (figura 9). En relación a ello, los estudios reportaron que los *displays* grandes son más adecuados para visualización general [72] [73]. Sin embargo, para realidad aumentada, el efecto está relacionado con el FOV, por lo que generalmente se obtuvieron mejores resultados, en términos de tiempo [81] y carga mental subjetiva [72], con tamaños pequeños que no excedieran el FOV. Para la selección de elementos dentro de un espacio de información, se identificó que el tamaño grande mejora el tiempo de la tarea [74]. Con respecto al *layout*, para tareas de alta frecuencia o baja frecuencia de cambio se identificaron dos factores: la *distancia* (separación entre espacios de información) y la *ruta* [75] (dirección de movimiento en el cambio).

Las ubicaciones de información a la izquierda mostraron mejores resultados en términos de tiempo de tarea para tareas de baja frecuencia [35], [61], a excepción de los sistemas exocéntricos con pantalla curva [59], donde el menor tiempo se observó en las pantallas localizadas a la derecha [55]. Asimismo, fueron mejor percibidos los desplazamientos verticales de arriba-abajo para tareas de alta frecuencia. Las configuraciones múltiples de mosaico obtuvieron menores tiempos de cambio, pero la configuración aleatoria obtuvo menores transiciones de mirada con menor distancia y tiempo de identificación.

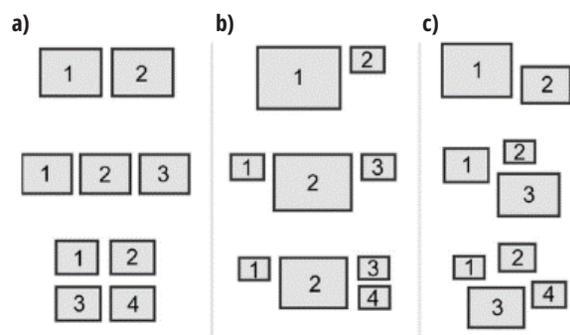


Figura 9. Layout de pantallas: a) mosaico, b) primario y c) aleatorio

Fuente: Vatavu. [53].

- *Curvatura*: es la deformación de un plano visual para adaptar una sección cilíndrica, cuyo eje se localiza en el centro visual del usuario. Este atributo fomenta la rotación de la cabeza y reduce el tiempo de búsqueda, aunque no evidenció relación con la carga cognitiva.
- *Bisel de pantallas*: es un excedente de espacio no usado que incrementa la separación y enmarca el *display* [76], pero no se identificaron efectos del uso de biseles en la carga cognitiva [73], [77].

Discusión y conclusión

En esta revisión se identificaron características de diseño de entornos virtuales 3D en tecnologías de realidad extendida, aunque la mayoría de las investigaciones tienen información fragmentada y no para todas las tecnologías expuestas. De manera general, son pocas las investigaciones para algunas características y se considera importante ampliar los hallazgos preliminares de algunas de ellas con nuevos experimentos que puedan dar orientación al efecto cognitivo de estas tecnologías.

Con respecto a las diferencias entre usuarios, se identificó la influencia de factores individuales como la habilidad espacial, el conocimiento previo y la memoria de trabajo visual. En este sentido, son varias las apreciaciones: primero, efectivamente varios estudios han podido reafirmar que la habilidad espacial alta brinda a la persona la capacidad de gestionar eficientemente su memoria de trabajo visual, a fin de evitar la sobrecarga cognitiva cuando aprende con materiales de alto contenido visual [23], [24]. Al parecer, ciertos formatos (integrados) [23], segmentados y con características de animación [25] y de codificación [27] son especialmente útiles para personas con baja capacidad espacial, principalmente porque ayudan a reducir el procesamiento extraño, manteniendo recursos cognitivos disponibles para el procesamiento pertinente [29], lo cual permitió a los estudiantes aumentar la comprensión y nivelar su conocimiento. Sin embargo, para personas con capacidad espacial alta, estas características no brindan un apoyo adicional y relevante [23]. Por lo tanto, se identifica que las personas con menor capacidad

espacial requieren y obtienen mejores resultados aplicando estrategias para la reducción del procesamiento extraño [27].

Por otra parte, varios estudios coinciden en establecer que la capacidad espacial se considera un predictor o moderador del resultado en términos de aprendizaje con materiales de alto contenido visual [22]. Asimismo, el conocimiento previo del tema afecta el esfuerzo mental, especialmente de estudiantes con poco conocimiento, razón por la cual dedican más tiempo a observar los objetos relacionados por cercanía, en búsqueda de relaciones aún no establecidas por su falta de conocimiento [22]. Por el contrario, los estudiantes con alto conocimiento previo dirigen su atención al contenido relevante [78], con un mínimo de búsquedas visuales. Lo anterior es reafirmado por la capacidad que muestran los expertos de discriminar entre la información relevante o no relevante y de adaptar el ritmo de la tarea a la dificultad [31]. Por esto, el bajo conocimiento previo genera propensión al error en estudiantes con condiciones de atención dividida [30]. Además, con respecto a la memoria de trabajo visual, unos pocos estudios evidenciaron como efecto principal para los usuarios de baja memoria de trabajo el aumento del desempeño de la tarea en presencia de algunas características como el *layout*.

En este estudio, a partir de la información recabada, se propone una taxonomía de técnicas para la integración de contenido fundamentada en su extensión, un factor considerado fundamental, dado que incrementa la necesidad de usar recursos cognitivos en la memoria de trabajo durante el desarrollo de la actividad. En el proceso, no se identificaron taxonomías similares. De igual forma, conscientes de las limitaciones de las técnicas basadas en la proximidad espacial, se propone la categoría de “no proximidad espacial”, para agrupar técnicas que tienen un efecto similar o superior en el esfuerzo mental y el desempeño. Asimismo, se plantea la categoría de “contenido largo”, que agrupa técnicas para segmentar el contenido y lograr espacios de información que no estén sobrecargados, aprovechando mejor los recursos cognitivos del estudiante.

El principal parámetro analizado para identificar un conjunto de características de organización de los espacios de información fue la distancia, tanto entre el usuario y el espacio de información como entre espacios de información. Las características identificadas como relevantes fueron:

- *Context switching*, que permitió establecer un consenso en el efecto de cambio de contexto, así como la degradación del desempeño y el aumento del esfuerzo mental. Esta característica es de especial cuidado en tecnologías como la realidad aumentada y la realidad mixta, donde el cambio de contexto tiene alta presencial dada su naturaleza. A pesar de esto, fueron pocos los estudios recuperados y se considera la necesidad de ampliar la investigación, evaluando especialmente el esfuerzo mental en distancias cercanas al cuerpo.
- *La proximidad física*, que permitió identificar similitudes con la contigüidad espacial, dada su dependencia de la distancia entre espacios de información, por lo cual se considera que pueden constituir una única característica a abordar. De igual forma, el efecto cognitivo es similar, dado que se incrementa el uso de la memoria de trabajo debido a la separación de las fuentes de información [76], algo que afecta el desempeño del usuario.
- *La localización en el espacio*, que involucra una relación con el FOV como atributo del espacio 3D y con el hardware, y cuya influencia en el esfuerzo mental es notoria.

Desde la revisión, se identificaron cuatro atributos de configuración del entorno virtual: el sistema de referencia, la cobertura angular, la proximidad al usuario y el campo visual. De estos atributos, según la literatura encontrada, se consideran mayores los efectos del sistema de referencia y del FOV, especialmente porque, en el caso de sistema de referencia, crea una base de ubicación y orientación de los usuarios, fomentando o degradando la adecuada relación de estos con su entorno virtual, como lo menciona Müller [79] y Markov-Vetter [80]. De igual forma, el campo visual tiene un efecto que vincula especialmente los dispositivos

de visualización (*head-sets*) y el efecto de la carga mental, como lo menciona Czerwinski [81].

Como conclusión de este estudio, se observó que la información en la mayoría de las investigaciones está fragmentada y se requiere más experimentación para entender el efecto cognitivo de estas tecnologías. Habiendo establecido la influencia de factores individuales como la habilidad espacial, el conocimiento previo y la memoria de trabajo visual en el aprendizaje con materiales visuales, con diferencias notables en el desempeño según la capacidad espacial y el conocimiento previo de los individuos, se propuso una taxonomía de técnicas para la integración de contenido, enfocada en la extensión del mismo y la optimización de los recursos cognitivos. Se analizaron características de organización de los espacios de información, incluyendo la distancia, el *context switching*, la proximidad física y la localización en el espacio, destacando la necesidad de más investigación en áreas como el esfuerzo mental en distancias cercanas al cuerpo.

Finalmente, se identificaron cuatro atributos de configuración del entorno virtual, con énfasis en el sistema de referencia y el campo visual. La revisión subraya la complejidad de la interacción entre estos factores y la experiencia del usuario, y resalta la necesidad de una investigación más profunda y cohesiva para comprender plenamente cómo estos elementos interactúan en el contexto de la realidad extendida. Todos estos son hallazgos que pueden tener un impacto significativo en el diseño de nuevos entornos inmersivos de aprendizaje de diversas disciplinas.

Referencias

- [1] M. P. Ilić, D. Păun, N. P. Šević, A. Hadžić, A. Jianu, “Needs and performance analysis for changes in higher education and implementation of artificial intelligence, machine learning, and extended reality”, *Education Sciences*, vol. 11, no. 10, 2021. <https://doi.org/10.3390/educsci11100568>
- [2] U. G. Longo, S. De Salvatore, V. Candela, G. Zollo, G. Calabrese, S. Fioravanti, L. Giannone, A. Marchetti, M. G. De Marinis, V. Denaro, “Augmented reality, virtual reality and artificial intelligence in orthopedic surgery: A systematic review”, *Applied*

- Sciences (Switzerland)*, vol. 11, no.7, 2021. <https://doi.org/10.3390/app11073253>
- [3] J. Cross, C. Boag-Hodgson, T. Ryley, T. Mavin, L. Potter, “Using Extended Reality in Flight Simulators: A Literature Review”, *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, vol. 29, no 9, pp. 3961-3975. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2022.3173921>
- [4] A. Voronin, A. Danilova, O. Savelyeva, “Application of virtual reality technologies in the training process”, *Izvestiya of the Samara Science Centre of the Russian Academy of Sciences. Social, Humanitarian, Medico-biological Sciences*, vol. 24, no. 83, pp. 10-14, 2022. <https://doi.org/10.37313/2413-9645-2022-24-83-10-14>
- [5] L. Daling, S. Schlittmeier, “Effects of Augmented Reality-, Virtual Reality-, and Mixed Reality-Based Training on Objective Performance Measures and Subjective Evaluations in Manual Assembly Tasks: A Scoping Review”, *Human factors*, pp. 187208221105135. <https://doi.org/10.1177/00187208221105135>
- [6] H. Gómez-Tone, M. Chávez, L. Samalvides, J. Martín-Gutiérrez, “Introducing Immersive Virtual Reality in the Initial Phases of the Design Process—Case Study: Freshmen Designing Ephemeral Architecture”, *Buildings*, vol. 12, no. 5, pp. 518, 2022. <https://doi.org/10.3390/buildings12050518>
- [7] M. E. LeBel, J. Haverstock, S. Cristancho, L. van Eimeren, G. Buckingham, “Observational Learning During Simulation-Based Training in Arthroscopy: Is It Useful to Novices?”, *Journal of Surgical Education*, vol. 75, no. 1, pp. 222–230, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2017.06.005>
- [8] N. Yuviler-Gavish, H. Krisher, “The Effect of Computerized System Feedback Availability During Executive Function Training”. *Journal of Educational Computing Research*, vol. 54, no. 5, pp. 701–716, 2016. <https://doi.org/10.1177/0735633115628033>
- [9] E. N. Spruit, G. P. H. Band, J. F. Hamming, K. R. Ridderinkhof, “Optimal training design for procedural motor skills: a review and application to laparoscopic surgery”, *Psychological Research*, vol. 78 no. 6, pp. 878–891, 2014. <https://doi.org/10.1007/s00426-013-0525-5>
- [10] M. Zhang, G. Hou, Y. Chen, “Effects of interface layout design on mobile learning efficiency: a comparison of interface layouts for mobile learning platform”, *Library hi tech*, 2022. <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/LHT-12-2021-0431/full/html>
- [11] C. Zhou, F. Yuan, T. Huang, Y. Zhang, J. Kaner, “The Impact of Interface Design Element Features on Task Performance in Older Adults: Evidence from Eye-Tracking and EEG Signals”. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 19, no. 15, pp.9251, 2022. <https://doi.org/10.3390/ijerph19159251>
- [12] P. Ayres, J. Sweller, “The split-attention principle in multimedia learning” in *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*, 2 ed, Cambridge: Cambridge University Press, 2014, pp. 206–226. <https://doi.org/10.1017/CBO9781139547369.011>
- [13] J. Sweller, P. Chandler, “Why Some Material Is Difficult to Learn Why Some Material Is Difficult to Learn”, *Cognition and Instruction*, vol. 12, no. 3, pp. 185–233, 1994. https://doi.org/10.1207/s1532690xci1203_1
- [14] X. Guo, T. Zhu, C. Wu, Z. Bao, Y. Liu, “Emotional Activity Is Negatively Associated With Cognitive Load in Multimedia Learning: A Case Study With EEG Signals”, *Frontiers in Psychology*, vol. 13, 2022. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.889427>
- [15] T. Jin, S. Zhou, X. Lang, J. He, Wang, W, “Combined Effect of Color and Shape on Cognitive Performance”, *Mathematical Problems in Engineering*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/3284313>
- [16] S. Kernebeck, C. Jux, T. Busse, D. Meyer, L. Dreier, D. Zenz, B. Zernikow, J. Ehlers, “Participatory Design of a Medication Module in an Electronic Medical Record for Paediatric Palliative Care: A Think-Aloud Approach with Nurses and Physicians”, *Children*, vol. 9, no. 1, pp. 82, 2022. <https://doi.org/10.3390/children9010082>
- [17] E. Redlinger, B. Glas, Y. Rong, “Impact of Visual Game-Like Features on Cognitive Performance in a Virtual Reality Working Memory Task: Within-Subjects Experiment”, *JMIR Serious Games*, vol. 10, no. 2, pp. e35295, 2022. <https://doi.org/10.2196/35295>
- [18] M. Qatrunada, M. Harasta, I. Tosofu, “Utilization of Augmented Reality Technology as an Interactive Learning Media”, *International Journal of Research and Applied Technology (INJURATECH)*, vol. 2, no. 1, pp. 188-195, 2022. <https://doi.org/10.34010/injuratech.v2i1.6917>
- [19] F. García-Sanjuan, J. Jaen, V. Nacher, “Toward a General Conceptualization of Multi-Display Environments”, *Frontiers in ICT*, vol. 3, pp. 1–15, 2016. <https://doi.org/10.3389/fict.2016.00020>
- [20] U. Rashid, M. A. Nacenta, A. Quigley, “Factors influencing visual attention switch in multi-display user interfaces”, *Proc. Int. Symp. Pervasive Displays - PerDis '12*, pp. 1–6, 2012. <https://doi.org/10.1145/2307798.2307799>

- [21] D. Kossyva, G. Theriou, V. Aggelidis, L. Sarigiannidis, “Definitions and antecedents of engagement: a systematic literature review”, *Management Research Review*, vol. 46, no. 5, pp. 719–738, 2023. <https://doi.org/10.1108/MRR-01-2021-0043>
- [22] L. Cheng, C. R. Beal, “Effects of student-generated drawing and imagination on science text reading in a computer-based learning environment”, *Educ. Technol. Res. Dev.*, vol. 68, no. 1, pp. 225–247, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11423-019-09684-1>.
- [23] M. Florax R. Ploetzner, “What contributes to the split-attention effect? The role of text segmentation, picture labelling, and spatial proximity”, *Learn. Instr.*, vol. 20, no. 3, pp. 216–224, 2010, <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2009.02.021>
- [24] F. Anvari, H. M. T. Tran, M. Kavakli, “Using Cognitive Load Measurement and Spatial Ability Test to Identify Talented Students in Three-Dimensional Computer Graphics Programming”, *Int. J. Inf. Educ. Technol.*, vol. 3, no. 1, pp. 94–99, 2013, <https://doi.org/10.7763/ijiet.2013.v3.241>
- [25] S. F. Fong, “Effects of segmented animated graphics among students of different spatial ability levels: A cognitive load perspective”, *Turkish Online J. Educ. Technol.*, vol. 12, no. 2, pp. 89–96, 2013.
- [26] H. Simon, P. Liu, D. J. Palombo, T. C. Handy, C. Krebs. “The role of spatial ability in mixed reality learning with the HoloLens”, *Anatomical Sciences Education*, no. 15, pp.1074-1085, 2021. <https://doi.org/10.1002/ase.2146>
- [27] B. Park, S. Münzer, T. Seufert, R. Brünken, “The role of spatial ability when fostering mental animation in multimedia learning: An ATI-study”, *Comput. Human Behav.*, vol. 64, pp. 497–506, 2016, <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.07.022>
- [28] L. Peng, Y. Deng, S. Jin, “The Evaluation of Active Learning Classrooms: Impact of Spatial Factors on Students: Learning Experience and Learning Engagement”, *Sustainability*, vol. 14, no. 8, pp. 4839. 2022. <https://doi.org/10.3390/su14084839>
- [29] J. C. Castro-Alonso, P. Ayres, M. Wong, F. Paas, “Learning symbols from permanent and transient visual presentations: Don’t overlap the hand”, *Comput. Educ.*, vol. 116, pp. 1–13, 2018, <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.08.011>
- [30] D. Bodemer, U. Faust, “External and mental referencing of multiple representations”, *Comput. Human Behav.*, vol. 22, no. 1, pp. 27–42, 2006. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2005.01.005>
- [31] M. A. Ghazanfar, M. Cook, B. Tang, I. Tait, A. Alijani, “The effect of divided attention on novices and experts in laparoscopic task performance”, *Surg. Endosc.*, vol. 29, no. 3, pp. 614–619, 2015, <https://doi.org/10.1007/s00464-014-3708-2>
- [32] J. Buchner, K. Buntins, M. Kerres, “A systematic map of research characteristics in studies on augmented reality and cognitive load”, *Computers and Education Open*, vol. 2, pp. 100036, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2021.100036>
- [33] D. Toker, C. Conati, G. Carenini, M. Haraty, “Towards adaptive information visualization: On the influence of user characteristics”, *Lect. Notes Comput. Sci.* (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics), vol. 7379 LNCS, pp. 274–285, 2012. https://doi.org/10.1007/978-3-642-31454-4_23.
- [34] C. Conati, G. Carenini, E. Hoque, B. Steichen, D. Toker, “Evaluating the impact of user characteristics and different layouts on an interactive visualization for decision making”, *Comput. Graph. Forum*, vol. 33, no. 3, pp. 371–380, 2014, <https://doi.org/10.1111/cgf.12393>
- [35] M. T. Atta, A. Romli, M. A. Majid, “The Impact of AR/VR on Spatial Memory Performance of Learners: A review”, International Conference on Software Engineering & Computer Systems and 4th International Conference on Computational Science and Information Management (ICSECS-ICOCSIM), Pekan, Malaysia, 2021, pp. 75-79, <https://doi.org/10.1109/ICSECS52883.2021.00021>
- [36] N. L. Schroeder, A. T. Cenkci, “Spatial Contiguity and Spatial Split-Attention Effects in Multimedia Learning Environments: a Meta-Analysis”, *Educ. Psychol. Rev.*, vol. 30, no. 3, pp. 679–701, 2018, <https://doi.org/10.1007/s10648-018-9435-9>
- [37] G. Xuewang and M. Yamada, “The effects of augmented reality on learning performance and cognitive load using the spatial continuity principle”, Proceedings of the 17th International Conference on Cognition and Exploratory Learning in the Digital Age CELDA, 2020.
- [38] S. Schneider, et al. “How organization highlighting through signaling, spatial contiguity and segmenting can influence learning with concept maps”, *Computers and Education Open*, vol. 2, pp. 100040, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2021.100040>
- [39] D. Bodemer, R. Ploetzner, I. Feuerlein, H. Spada, “The active integration of information during learning with dynamic and interactive visualisations”, *Learn.*

- Instr.*, vol. 14, no. 3, pp. 325–341, 2004, <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2004.06.006>
- [40] R. Radkowski, J. Herrema, and J. Oliver, “Augmented Reality-Based Manual Assembly Support With Visual Features for Different Degrees of Difficulty”, *Int. J. Hum. Comput. Interact.*, vol. 31, no. 5, pp. 337–349, 2015, <https://doi.org/10.1080/10447318.2014.994194>
- [41] N. F. Polys, D. A. Bowman, C. North, “The role of Depth and Gestalt cues in information-rich virtual environments”, *Int. J. Hum. Comput. Stud.*, vol. 69, no. 1–2, pp. 30–51, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2010.05.007>
- [42] J. B. Madsen, M. Tatzqern, C. B. Madsen, D. Schmaltieg, D. Kalkofen, “Temporal Coherence Strategies for Augmented Reality Labeling”, *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.*, vol. 22, no. 4, pp. 1415–1423, 2016. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2016.2518318>
- [43] S. Kalyuga, P. Chandler, J. Sweller, “Managing split-attention and redundancy in multimedia instruction”, *Appl. Cogn. Psychol.*, vol. 25, no. 1, pp. 123–144, 1999. <https://doi.org/10.1002/acp.1773>
- [44] W. Rijnsburger, S. Kratz, “Personalized presentation annotations using optical HMDs”, *Multimed. Tools Appl.*, vol. 76, no. 4, pp. 5607–5629, 2016, <https://doi.org/10.1007/s11042-016-4064-0>
- [45] A. Renkl, “Toward an Instructionally Oriented Theory of Example-Based Learning”, *Cogn. Sci.*, vol. 38, no. 1, pp. 1–37, 2014. <https://doi.org/10.1111/cogs.12086>
- [46] A. Renkl, K. Scheiter, “Studying Visual Displays: How to Instructionally Support Learning”, *Educ. Psychol. Rev.*, vol. 29, no. 3, pp. 599–621, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10648-015-9340-4>
- [47] B. Ens, J. D. Hincapié-Ramos, P. Irani, “Ethereal planes: A design framework for 2D information spaces in 3D mixed reality environments”, in SUI 2014 - Proceedings of the 2nd ACM Symposium on Spatial User Interaction, Honolulu, Hawaii, USA; 2014, pp. 2–12, <https://doi.org/10.1145/2659766.2659769>
- [48] G. L. Hanley, *e-Learning and the Science of Instruction*, vol. 18, no. 1. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2016.
- [49] N. Gavish, T. Gutiérrez, S. Webel, J. Rodríguez, “Design Guidelines for the Development of Virtual Reality and Augmented Reality Training Systems for Maintenance and Assembly Tasks”, *Int. Conf. Ski.*, vol. 29, pp. 1–4, 2011, <https://doi.org/10.1051/bioconf/20110101000>
- [50] R. Radkowski, “Investigation of Visual Features for Augmented Reality Assembly Assistance”, in *HCI International 2015*, vol. 9179, R. Shumaker and S. Lackey, Eds. Cham: Springer International Publishing, pp. 488–498, 2015.
- [51] M. T. McCrudden, D. N. Rapp, “How Visual Displays Affect Cognitive Processing”, *Educ. Psychol. Rev.*, vol. 29, no. 3, pp. 623–639, 2017. <https://doi.org/10.1007/s10648-015-9342-2>
- [52] D. Gupta, *An Empirical Study of the Effects of Context-Switch, Object Distance, and Focus Depth on Human Performance in Augmented Reality*, Virginia Polytechnic Institute and State University, 2004.
- [53] M. S. Arefin, N. Phillips, A. Plopski, J. L. Gabbard, J. E. Swan, “The Effect of Context Switching, Focal Switching Distance, Binocular and Monocular Viewing, and Transient Focal Blur on Human Performance in Optical See-Through Augmented Reality.” *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 28, 2014–2025 pp. 2018.
- [54] A. Eiberger, P. O. Kristensson, S. Mayr, M. Kranz, J. Grubert, “Effects of Depth Layer Switching between an Optical See-Through Head-Mounted Display and a Body-Proximate Display”, in Symposium on Spatial User Interaction, Oct. 2019, pp. 1–9, <https://doi.org/10.1145/3357251.3357588>
- [55] U. Rashid, J. Kauko, J. Häkkinä, A. Quigley, “Proximal and distal selection of widgets: Designing distributed UI for mobile interaction with large display”, *Mob. HCI 2011 - 13th Int. Conf. Human-Computer Interact. with Mob. Devices Serv.*, pp. 495–498, 2011, <https://doi.org/10.1145/2037373.2037446>
- [56] T. Pladere, et al. “When virtual and real worlds coexist: Visualization and visual system affect spatial performance in augmented reality”, *Journal of Vision*, vol. 21, no. 17, 2021. <https://doi.org/10.1167/jov.21.8.17>
- [57] M. García Ogueta, “Atención y sus cambios en el espacio visual”, *Cognitiva*, vol. 3, no. 2, pp. 205–236, 1991.
- [58] R. E. Su, B. P. Bailey, “Put them where? Towards guidelines for positioning large displays in interactive workspaces”, *Lect. Notes Comput. Sci. (including Subser. Lect. Notes Artif. Intell. Lect. Notes Bioinformatics)*, vol. 3585 LNCS, pp. 337–349, 2005. https://doi.org/10.1007/11555261_29
- [59] B. Ens, R. Finnegan, P. Irani, “The personal cockpit: A spatial interface for effective task switching on head-worn displays”, in Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings, pp. 3171–3180, 2014. <https://doi.org/10.1145/2556288.2557058>
- [60] T. M. R. Dauenhauer, *A Taxonomy for Information Linking in Augmented Reality*, Lecce, Italy: University of Salento, 2016. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-40621-3>

- [61] X. Lei, Y.-L. Tsai, P.-L. P. Rau, “Effect of Layout on User Performance and Subjective Evaluation in an Augmented-Reality Environment”, in *Lecture Notes in Computer Science* (including subseries *Lecture Notes in Artificial Intelligence* and *Lecture Notes in Bioinformatics*) Orlando, Florida, USA; vol. 11576 LNCS, 2019, pp. 376–385.
- [62] N. Kishishita, K. Kiyokawa, J. Orlosky, T. Mashita, H. Takemura, E. Kruijff, “Analysing the effects of a wide field of view augmented reality display on search performance in divided attention tasks”, *ISMAR 2014 - IEEE Int. Symp. Mix. Augment. Real. - Sci. Technol.*, pp. 177–186, 2014, <https://doi.org/10.1109/ISMAR.2014.6948425>
- [63] E. Kruijff, J. Orlosky, N. Kishishita, C. Trepkowski, K. Kiyokawa, “The influence of label design on search performance and noticeability in wide field of view augmented reality displays”, *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.*, vol. 25, no. 9, pp. 2821–2837, 2019. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2018.2854737>
- [64] P. Renner, T. Pfeiffer, “Attention guiding techniques using peripheral vision and eye tracking for feedback in augmented-reality-based assistance systems”, *IEEE Symp. 3D User Interfaces, 3DUI 2017 - Proc.*, pp. 186–194, 2017. <https://doi.org/10.1109/3DUI.2017.7893338>
- [65] K. Yin, Z. He, K. Li, S. Wu, “Polarization-dependent combiner for wide field-of-view glasses-like AR displays”, *Proceedings*, vol. 11931, *Optical Architectures for Displays and Sensing in Augmented, Virtual, and Mixed Reality (AR, VR, MR)*, no. III, pp. 119310J, 2022. <https://doi.org/10.1117/12.2614966>
- [66] R. Zayas, B. Cox, “Enseñando Precauciones de Seguridad en un EVA: el efecto de la ubicación de la Información e Interactividad”, *Comput. y Sist.*, vol. 13, no. 1, pp. 96–110, 2009. <http://sro.sussex.ac.uk/24933/>
- [67] P. S. Jian, P. Chen, D. A. Bowman, “Testbed evaluation of navigation and text display techniques in an information-rich virtual environment”, *IEEE Virtual Reality 2004*, vol. 52, no. 3, pp. 181–289, 2004. <https://doi.org/10.1109/VR.2004.1310072>
- [68] Y. Fujimoto, G. Yamamoto, J. Miyazaki, H. Kato, “Relation between location of information displayed by Augmented Reality and user’s memorization”, *ACM Int. Conf. Proceeding Ser.*, pp. 0–7, 2012. <https://doi.org/10.1145/2160125.2160132>
- [69] R. Lawrence, L. Schneider, J. Pratt, “EXPRESS: Can arrows change the subjective perception of space? Exploring symbolic attention repulsion”, *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, vol. 75, no. 11, pp. 1997–2011, 2022. <https://doi.org/10.1177/17470218221076135>
- [70] D. Tan, M. Czerwinski, “Effects of Visual Separation and Physical Discontinuities when Distributing Information across Multiple Displays”, *Proc. Interact’03*, pp. 252–259, 2003, <http://research.microsoft.com/en-us/um/people/desney/publications/interact2003-short-visualseparation.pdf>
- [71] R. D. Vatavu, M. Mancaş, “Visual attention measures for multi-screen TV”, *TVX 2014 - Proc. 2014 ACM Int. Conf. Interact. Exp. TV Online Video*, pp. 111–118, 2014. <https://doi.org/10.1145/2602299.2602305>
- [72] L. Shupp, C. Andrews, M. Dickey-Kurdziolek, B. Yost, C. North, “Shaping the display of the future: The effects of display size and curvature on user performance and insights”, *Human-Computer Interact.*, vol. 24, no. 1–2, pp. 230–272, 2009. <https://doi.org/10.1080/07370020902739429>
- [73] U. Rashid, M. A. Nacenta, A. Quigley, “The cost of display switching: A comparison of mobile, large display and hybrid UI configurations”, *Proc. Int. Work. Conf. Adv. Vis. Interfaces*, pp. 99–106, 2012, <https://doi.org/10.1145/2254556.2254577>
- [74] K. Kia, J. Hwang, I. Kim, J. Kim. “The effects of target size and error rate on the cognitive demand and stress during augmented reality interactions.” *Applied ergonomics*, vol. 97, pp. 103502, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2021.103502>
- [75] S. Bang, H. Lee, W. Woo, “Effects of Augmented Content’s Placement and Size on User’s Search Experience in Extended Displays”, in *IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Workshops (ISMARW)*, pp. 184–188, 2020, <https://doi.org/10.1109/ismar-adjunct51615.2020.00056>
- [76] X. Bi, S. H. Bae, R. Balakrishnan, “Effects of interior bezels of tiled-monitor large displays on visual search, tunnel steering, and target selection”, *Conf. Hum. Factors Comput. Syst. - Proc.*, vol. 1, pp. 65–74, 2010, <https://doi.org/10.1145/1753326.1753337>
- [77] J. R. Wallace, D. Vogel, and E. Lank, “Effect of bezel presence and width on visual search”, *PerDis 2014 - Proc. 3rd ACM Int. Symp. Pervasive Displays*, pp. 118–123, 2014. <https://doi.org/10.1145/2611009.2611019>
- [78] S. Kim, B. Rehder, “How prior knowledge affects selective attention during category learning: An eyetracking study”, *Mem. Cognit.*, vol. 39, no. 4, pp. 649–665, May 2011. <https://doi.org/10.3758/s13421-010-0050-3>
- [79] T. Müller, “Challenges in representing information with augmented reality to support manual procedural tasks”, *AIMS Electron. Electr. Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 71–97, 2019. <https://doi.org/10.3934/electreng.2019.1.71>

- [80] D. Markov-Vetter, M. Luboschik, A. T. Islam, P. Gauger, O. Staadt, “The Effect of Spatial Reference on Visual Attention and Workload during Viewpoint Guidance in Augmented Reality”, Proc. - SUI 2020 ACM Symp. Spat. User Interact., 2020. <https://doi.org/10.1145/3385959.3418449>
- [81] M. Czerwinski, D. S. Tan, G. G. Robertson, “Women take a wider view”, Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings, vol. 4, no. 1, pp. 195–202, 2002. <https://doi.org/10.1145/503376.503412>