

La accesibilidad de los gráficos estadísticos para personas con baja visión y visión cromática deficiente: revisión de alcance y perspectivas

The accessibility of statistical charts for people with low vision and color vision deficiency: scoping review and perspectives

Rubén Alcaraz Martínez

Departament de Biblioteconomia,
Documentació i Comunicació
Audiovisual
Universitat de Barcelona
Barcelona, España
ralcaraz@ub.edu

Mireia Ribera Turró

Departament de Matemàtiques
i Informàtica
Universitat de Barcelona
Barcelona, España
ribera@ub.edu

Toni Granollers Saltiveri

Departament d'Informàtica
i Enginyeria Industrial
Universitat de Lleida
Lleida, España
antoni.granollers@udl.cat

Recibido: 27.10.2019 | Aceptado: 15.12.2019

Palabras Clave

Accesibilidad
Gráficos estadísticos
Percepción del color
Visión cromática deficiente
Ceguera al color
Baja visión
Discapacidad visual

Resumen

Los gráficos estadísticos juegan un papel primordial en diferentes ámbitos de nuestra vida como la información, la educación, la comunicación o la investigación, entre otros. No obstante, los autores y editores de contenido no siempre atienden a criterios de accesibilidad en el diseño y creación de este tipo de contenido. Teniendo en cuenta estas dos premisas, este trabajo presenta una revisión de alcance sobre la accesibilidad de los gráficos estadísticos para personas con discapacidad visual. El resultado de la revisión ha evidenciado un escaso número de trabajos orientados específicamente a los usuarios con baja visión o visión cromática deficiente, centrándose la mayoría de las investigaciones en las personas ciegas o con muy poco resto de visión. Los trabajos analizados recogen cuatro aproximaciones en vistas a mejorar la accesibilidad de este tipo de contenido: alternativas textuales, sonificación, alternativas táctiles y alternativas multimodales. Todas estas alternativas se discuten con la finalidad de evaluar su idoneidad para personas con baja visión y visión cromática deficiente. Finalmente, se explora el mercado tecnológico relacionado con el software para la creación de gráficos estadísticos en vistas a analizar sus posibilidades para incorporar las características y funcionalidades descritas en la literatura para mejorar su accesibilidad.

Keywords

Accessibility
Statistical charts
Color perception
Color vision deficiency
Color blindness
Low vision
Visual impairment

Abstract

Statistical charts play a primordial role in different areas of our life, such as information, education, communication or research, among others. However, authors and content publishers do not always follow the accessibility criteria in the design and creation of this type of content. Considering these two premises, this work presents a scoping review of the studies related with the accessibility of charts for people with visual impairment. The review shows a small number of works specifically aimed at users with low vision or vision color deficiency, while most studies focus on blind people or on people with severe low vision. The review identifies four approaches to improve the accessibility of statistical charts: text alternatives, sonification, tactile alternatives and multimodal alternatives. In the review the four approaches are discussed to assess their suitability for people with low vision and color vision deficiency. Finally, authoring tools market is explored to uncover actual capabilities to implement the features and functionalities required for accessibility.

1. Introducción

Este artículo presenta una revisión de alcance de los trabajos centrados en la accesibilidad de los gráficos estadísticos para personas con discapacidad visual, poniendo especial énfasis en aquellos que abordan específicamente las necesidades de las personas con baja visión y con visión cromática deficiente (VCD).

La literatura científica publicada hasta el momento se ha orientado, fundamentalmente, en la accesibilidad de los gráficos estadísticos para las personas ciegas o con muy poco resto de visión. Si bien es cierto que, las alternativas propuestas para este colectivo pueden suponer también ciertos beneficios para los usuarios con baja visión y VCD, existe un déficit importante de trabajos orientados a estos colectivos específicos. No obstante, se ha considerado de interés analizar las diferentes aproximaciones y soluciones existentes en la literatura para todos los perfiles de discapacidad visual, como primera fase de una investigación en curso, consistente en apuntar posibles nuevas vías de representación y metodologías de evaluación, diseño y creación para este tipo de contenido.

El artículo se organiza como continúa: en la sección 2, se abordan las características que definen la baja visión y se comenta la prevalencia a nivel mundial. En la sección 3, se justifica la necesidad de abordar la accesibilidad de los gráficos estadísticos para personas con baja visión y VCD. La sección 4 introduce las preguntas de investigación. En la sección 5, se explica la metodología utilizada para la revisión de alcance de la literatura. La sección 6 lista los trabajos seleccionados y describe los resultados de la revisión. Finalmente, la sección 7 presenta las conclusiones y las líneas de trabajo futuro.

2. Baja visión: prevalencia y características

La Organización Mundial de la Salud cifra en 1300 millones, la cantidad de personas en el mundo que padecen algún tipo de discapacidad visual, de las cuales 36 millones son ciegas. La gran mayoría de personas afectadas por una discapacidad visual se engloban, por lo tanto, dentro de lo que se considera baja visión. En concreto y, por lo que respecta a la visión lejana, 188,5 millones de personas presentan baja visión moderada y 217 millones una visión situada entre moderada y grave; mientras que por lo que respecta a la visión de cerca, el número total de personas con baja visión se estima en unos 826 millones (WHO, 2019). Una cifra que va de la mano del aumento del envejecimiento global de la población. En este sentido, el 86% de las personas ciegas, el 86% de las personas con baja visión y el 61% de la población con presbicia tienen 50 años o más (Bourne et al., 2017).

Otras discapacidades visuales como la VCD también afectan a una parte sustancial de la población mundial. La Protanopia (carencia de sensibilidad a la percepción del color rojo) y, especialmente, la Deuteranopia (carencia de sensibilidad a la percepción del color verde), son las dos formas más comunes bajo las que se presenta la VCD. Éstas afectan aproximadamente al 8% de los hombres y al 0,4% de las mujeres (Birch, 2014), lo que supone cerca del 4,5% de la población mundial -más de 300 millones de personas- (Colour Blindness Awareness, 2017).

La baja visión engloba a todas aquellas personas con una discapacidad visual distinta a la ceguera, que no puede ser corregida por completo con lentes correctoras (WebAIM, 2013). Esto implica la existencia, bajo esta categoría, de múltiples perfiles de usuario con diferentes grados de agudeza visual y campo de visión, así como múltiples problemas relacionados con la sensibilidad al contraste o a la luz, congénitos o causados por diferentes afecciones y enfermedades oculares como las cataratas, el glaucoma, la degeneración macular, o la retinopatía diabética.

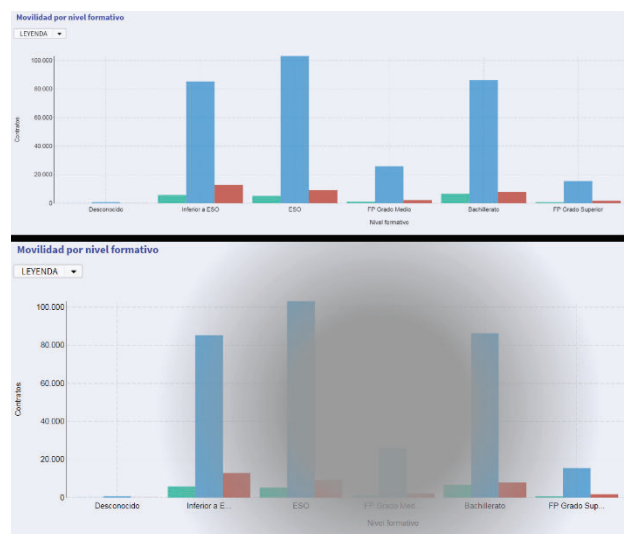


Figura 2: En la simulación de la parte inferior, los efectos de la degeneración macular producen un oscurecimiento y visión borrosa central, dificultando la visualización del gráfico. Fuente: gráfico extraído del catálogo de datos abiertos del gobierno de Asturias. Simulación realizada por los autores.

Las cataratas producen un efecto borroso, similar a una bruma o niebla que se pone de manifiesto con especial agudeza en situaciones de luz brillante. El glaucoma, causado por un aumento de presión en el ojo, deriva en la pérdida de visión periférica acompañada de un área de visión central borrosa. Por su parte, la degeneración macular (figura 1) presenta como consecuencia la incapacidad de enfocar la visión central, lo que implica una importante dificultad para ver objetos que se miran directamente ya que, a pesar de conservar la visión periférica,

ésta no es tan clara como la central. Finalmente, la retinopatía diabética, implica la aparición de manchas oscuras en el campo de visión que dificultan la lectura de un contenido que puede aparecer borroso y distorsionado para aquellas personas que la padecen (WebAIM, 2013).

Por su parte, la VCD -también denominada ceguera al color- se refiere a la incapacidad que presentan algunas personas para distinguir ciertas combinaciones de colores o, en el caso de la acromatopsia, a la no percepción de ningún color. Aunque en general se trata de una condición hereditaria, la VCD también puede derivarse de algunas enfermedades como la diabetes, el glaucoma, la esclerosis múltiple, la leucemia o la anemia falciforme, entre otras (American Optometric Association, 2019).

Atender a los problemas de accesibilidad de estos perfiles de usuario supone el reto añadido de afrontar la creación de contenido accesible para los diferentes grados de agudeza visual, campo de visión y visión cromática, cada uno de ellos con sus propias características y necesidades.

El usuario con baja visión se beneficia del uso de diferentes ayudas técnicas entre las que destaca el uso de los magnificadores de pantalla. También de otras herramientas integradas en estas aplicaciones o independientes que permiten aplicar cambios de colores en las interfaces, ofreciendo combinaciones que proporcionan un mejor contraste o que no suponen un problema en la percepción del color cuando este se utiliza para transmitir información. Algunos usuarios con baja visión, también se benefician del uso de punteros mayores al tamaño estándar y del soporte de voz mediante lectores de pantalla, que combinan con las herramientas anteriores.

3. Justificación

Los gráficos estadísticos son un tipo de representación de datos presente en prácticamente todos los ámbitos de nuestra vida. Así, en los medios de comunicación, especialmente -aunque no exclusivamente- en el denominado periodismo de datos, es frecuente encontrar este tipo de representaciones. También podemos observar ejemplos significativos en otros ámbitos como la educación, la publicidad, las redes sociales, el ocio o todos aquellos derivados del movimiento de datos abiertos, que ha supuesto la disponibilidad de grandes conjuntos de datos accesibles para la ciudadanía, publicados por parte de la administración pública a través de sus portales de transparencia. Un contexto como el actual en el que la visualización de datos es protagonista en diferentes sectores en los que además se involucra a diferentes profesiones como ingenieros, analistas de datos, periodistas, diseñadores,

investigadores, entre otros (Meeks, Cesal, & Pettit, 2019), requiere que los gráficos sean accesibles para todas las personas.

Por lo que respecta al marco legal aplicable, tanto a nivel internacional, como nacional, se han venido sucediendo en las últimas décadas diferentes normas legales referidas a la accesibilidad digital y a los derechos de las personas con discapacidad. A las directrices de referencia en el ámbito de la accesibilidad, las *Directrices para la accesibilidad del contenido web* (WCAG), se han sumado diferentes textos legales como la EN 301 549: *Accessibility requirements suitable for public procurement of ICT products and services in Europe* (2014), actualizada en 2015 (EN 301 549 v1.1.2) y 2018 (EN 301 549 v2.1.2). Ambas clarifican el cumplimiento de la *Directiva (UE) 2016/2102 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de octubre de 2016, sobre la accesibilidad de los sitios web y aplicaciones para dispositivos móviles de los organismos del sector público*, que obliga a los organismos públicos europeos a que las páginas web y las aplicaciones móviles sean accesibles de acuerdo con la EN 301 549, además de adaptarse a la versión 2.1 de las WCAG. La transposición al marco jurídico español se ha materializado mediante el *Real Decreto 1112/2018, de 7 de septiembre, sobre accesibilidad de los sitios web y aplicaciones para dispositivos móviles del sector público*.

En relación con las WCAG, éstas han venido recogiendo en sus diferentes versiones, algunos criterios de conformidad relacionados con la accesibilidad del contenido para personas con baja visión, como el tamaño del texto o el contraste. La publicación de la versión 2.1 de las directrices ha ampliado estos requisitos al contenido gráfico y, por extensión, a los gráficos estadísticos (W3C, 2019a). Un hecho que corrobora la importancia creciente de la visualización de la información en todos los ámbitos de la comunicación digital, además de ampliar los horizontes de estas directrices hacia una tendencia generalizada que persigue una filosofía más amplia de la accesibilidad.

Por lo que respecta al uso de gráficos estadísticos en la educación, diferentes materias en distintos niveles formativos presentan un uso importante de gráficos entre los contenidos y estándares de aprendizaje evaluables. Por ejemplo, en el caso de España, el *Real Decreto 126/2014, de 28 de febrero, por el que se establece el currículo básico de la Educación Primaria* (2014) recoge entre estos estándares la necesidad de que los estudiantes sean capaces no sólo de consultar documentos escritos e imágenes, sino también gráficos de diferente índole como diagramas de barras, poligonales y sectoriales o pirámides de población, entre otros, en materias como las ciencias naturales, ciencias sociales, lengua y literatura o matemáticas. Asimismo, el *Real Decreto 1105/2014, de 26 de*

diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato (2015) también recoge el uso de este tipo de contenidos en materias como las matemáticas, física, química, biología y geología, historia, o en las ciencias de la tierra y el medio ambiente, entre otras.

Finalmente, también cabe destacar que otros colectivos o perfiles como estudiantes universitarios e investigadores pueden verse beneficiados de los resultados de una mayor accesibilidad en los gráficos. En este sentido, conviene destacar que si los resultados de investigación no son accesibles -y los gráficos estadísticos son una parte fundamental de muchos trabajos científicos- son muchos los lectores que pueden verse excluidos, limitando también la visibilidad de esos trabajos entre la comunidad científica. En este sentido, los gráficos presentan, por sí mismos, un valor comunicativo que en ocasiones trasciende al artículo o trabajo en el que se publican, constituyendo valiosos recursos de conocimiento (Carberry, Elzer & Demir, 2006).

Asimismo, la posibilidad de adquisición por parte de la administración pública de aquellos productos que incorporen gráficos estadísticos inaccesibles también se ve reducida, debido a su obligación legal de cumplir con unos requisitos mínimos de accesibilidad.

4. Preguntas de investigación

Con el objetivo de mejorar la accesibilidad de los gráficos estadísticos varios autores han realizado estudios de diferente índole para determinar qué aspectos influyen más en la capacidad de las personas con discapacidad visual para acceder a este contenido, así como para analizar la utilidad de diferentes tipos de soluciones, sistemas o adaptaciones técnicas.

La revisión de la literatura se ha realizado sobre la base de las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Qué aproximaciones se han propuesto para mejorar la accesibilidad de los gráficos estadísticos para personas con baja visión y VCD?
- ¿Existen pautas o guías para la creación de gráficos estadísticos accesibles para personas con baja visión y VCD?
- ¿Existen soluciones tecnológicas que permitan crear gráficos estadísticos accesibles para personas con baja visión y VCD?

5. Método de investigación

Se ha llevado a cabo una revisión de alcance de la literatura. Las bases de datos consultadas para llevar a cabo el estado del arte han sido: ACM Digital Library, Google Scholar, IEEE Xplore Digital Library, Scopus y Springer Link. Las consultas se realizaron durante el mes de enero de 2019.

Durante el proceso de revisión de la literatura, se ha puesto de manifiesto que prácticamente no existen trabajos que estudien la accesibilidad de los gráficos estadísticos centrándose en los usuarios con baja visión o VCD. A partir de esta primera constatación, se amplió el ámbito de la búsqueda para incluir todos los trabajos relacionados con el resto de las discapacidades visuales, fundamentalmente, personas ciegas o con muy poco resto de visión. No se ha impuesto ningún límite temporal para la inclusión de trabajos en la revisión.

La estrategia de búsqueda se basó en la siguiente combinación de términos:

(charts OR graphs OR "information graphics" OR "statistical graphics" OR "computer graphics") AND ("low vision" OR "sight-impaired" OR "visual impairment" OR "visually impaired" OR "visually impaired" OR "non-visual users" OR "near vision impairment" OR "color vision deficiency" OR "colour vision deficiency" OR "color blindness" OR "colour blindness" OR "chromatic vision deficiency" OR "color vision impairment" OR "colour vision impairment" OR daltonism OR blind OR blindness)

Los criterios de selección fueron los siguientes:

- Artículos científicos de investigación publicados en revistas o congresos revisados por pares.
- Artículos escritos en español o inglés.
- Sin límite temporal.

También se establecieron los siguientes criterios de exclusión:

- Trabajos publicados en diversas publicaciones mediante formatos diferentes (artículo, comunicación, preprint...), pero que contienen esencialmente la misma información. En esos casos, se ha optado por la versión publicada en una revista o congreso, en ese orden, y descartado las otras.
- Trabajos que se centran exclusivamente en la comprensión o interpretación de los gráficos estadísticos y no en su accesibilidad.

La revisión manual de las referencias incluidas en los trabajos seleccionados permitió la identificación de trabajos adicionales de interés para esta investigación a los cuales se les aplicaron los criterios de relevancia comentados anteriormente.

Finalmente, y, en vistas a cubrir toda la documentación existente sobre la materia, se complementó la revisión de la literatura con la consulta de las *Directrices para la accesibilidad del contenido web* (W3C, 2018a), así como de las *Image description guidelines* del Diagram Center, (2015) ambas instituciones de referencia por lo que respecta a la accesibilidad digital. También se realizó una búsqueda de soluciones tecnológicas para la creación de gráficos estadísticos que contemplaran o pudieran llegar a ser compatibles con las aproximaciones exploradas en la literatura científica.

6. Resultados de la búsqueda bibliográfica

La búsqueda bibliográfica permitió identificar un total de 61 trabajos relevantes de acuerdo con las preguntas de investigación planteadas.

Tabla 1: Distribución de los artículos recuperados por fuente.

Fuente	Número de artículos recuperados
ACM Digital Library	6
Google Scholar	23
IEEE Xplore Digital Library	10
Scopus	15
Springer Link	7

La literatura científica recoge, fundamentalmente, cuatro aproximaciones diferentes en vistas a mejorar la accesibilidad de los gráficos estadísticos para las personas con discapacidad visual: la inclusión de alternativas textuales, el uso de sonidos (sonificación), la generación de alternativas táctiles y la implementación de presentaciones multimodales. El uso del color, tratado por diferentes trabajos incluidos entre los resultados, también se ha recogido por su interés para el perfil de usuario objeto de estudio. Finalmente, se han localizado diferentes alternativas tecnológicas disponibles en el mercado que permiten la creación de gráficos estadísticos atendiendo a muchos de los criterios abordados en la literatura consultada.

6.1 Alternativas textuales

En relación con las alternativas textuales, son cinco las aproximaciones -no excluyentes entre sí- disponibles para ofrecer una alternativa textual del contenido de los gráficos estadísticos: el título del gráfico, los textos alternativos, las descripciones largas, las alternativas en forma de tabla y el etiquetado de gráficos dinámicos.

El título expresa de forma breve y precisa el contenido del gráfico situándose, generalmente, como encabezado. En ningún caso, se trata de una alternativa completa al contenido del gráfico. No obstante, sí resulta especialmente relevante para determinados perfiles de usuario, por ejemplo, para los usuarios de lectores de pantalla, entre los que encontramos no sólo a los usuarios ciegos, sino también a personas con baja visión. Disponer de un título suficientemente informativo, les permite identificar y reconocer rápidamente el contenido del gráfico, pudiendo saltar rápidamente entre los gráficos disponibles en una página hasta dar con el que desean consultar.

Los textos alternativos proporcionan una descripción breve del contenido del gráfico. La especificación HTML no indica un número máximo de caracteres para el atributo *alt* en las imágenes. Asimismo, los lectores de pantalla tampoco muestran problemas si el texto es muy largo, más allá de la posibilidad de que algún producto como JAWS, los lean en bloques individuales de 125 caracteres.⁵ No obstante, este atributo está pensado para ofrecer una síntesis del contenido y no una explicación detallada de elementos complejos como pueden ser los gráficos que nos ocupan (W3C, 2016a) y, por tanto, debería ser breve y conciso (Diagram Center, 2015). El mismo W3C (2019b) aconseja, cuando se trata de describir imágenes complejas como los gráficos, utilizar las descripciones cortas de los textos alternativos para facilitar a los usuarios la identificación de la imagen, y no para comunicar toda la información que transmiten. Asimismo, también da la posibilidad de utilizar este atributo para informar acerca de la ubicación de la descripción larga dentro de la página, en el caso de no utilizar el atributo *longdesc* en HTML, o cuando esta no se encuentra adyacente al gráfico.

Las descripciones largas son una variante de los textos alternativos utilizada cuando esta descripción breve no es suficiente para describir la función o información que contiene el gráfico (W3C, 2016b). En el contexto de la Web, esta técnica, consiste en añadir un URI mediante el atributo *longdesc* al elemento *img*, el destino del cual contiene una descripción larga del contenido no textual (W3C, 2016b). A pesar de tratarse de una característica bien valorada por los usuarios, especialmente cuando la descripción larga se ofrece en la misma página que el gráfico (WebAIM, 2009, 2015), lo cierto es que el uso de esta técnica es minoritario en la Web, tal y como muestra el estudio de Pilgrim (2007). Como en el caso anterior, el estándar HTML no especifica una cantidad máxima de caracteres o palabras para esta técnica y, a diferencia de los

⁵ <https://www.washington.edu/accessit/print.html?ID=1257>.

textos alternativos, en este caso sí se trata de una técnica pensada para proporcionar una representación textual de la información esencial que transmite el gráfico.

En la literatura, encontramos diferentes trabajos que se centran en abordar la posibilidad de generar alternativas textuales. Corio y Lapalme (1999), proponen SelTex, un sistema automatizado de generación de descripciones breves y pies de imagen a partir de un corpus de más de 400 resúmenes, en el que se centran, fundamentalmente en describir la intención principal del gráfico (presentación, comunicación, comparación, correlación o distribución). Chester y Elzer (2005) presentan un sistema capaz de transformar la información contenida en los gráficos en una representación textual en formato XML que incluye, por ejemplo, en el caso de un gráfico de barras, el número de barras, las etiquetas de los ejes o el color de cada barra, entre otros. Elzer, Schwartz, Carberry, Chester, Demir y Wu (2008) proponen una extensión de navegador que automatiza el proceso de generación de descripciones largas mediante un sistema de inferencia bayesiano encargado de inferir el mensaje tras el gráfico y de generar, posteriormente, un resumen en lenguaje natural. Un trabajo que amplían en Greenbacker, Wu, Carberry, McCoy, Elzer, McDonald, Chester y Demir (2011). Centrados también en el interés comunicativo del gráfico, Mahmood, Sarwar y Qazi (2014) proponen un sistema automatizado que genera resúmenes en lenguaje natural de un gráfico, con el objetivo de facilitar su interpretación. Por su parte, Ferres, Verkhogliad, Lindgaard, Boucher, Chretien, & Lachance (2007) describen inspectGraph, un sistema que permite generar descripciones breves de un gráfico generado con Microsoft Excel, y proporcionan una herramienta para que los usuarios puedan realizar consultas y navegar a través de los valores del gráfico. Ferres, Lindgaard, Sumegi y Tsuji (2010), realizan una propuesta similar con iGraph-Lite, una ayuda técnica para personas ciegas y con baja visión pronunciada que genera descripciones de los gráficos a partir de la información que contienen (título, ejes, valores, etc.), acompañada por una interfaz que facilita su navegación. Demir, Oliver, Schwartz, Elzer, Carberry, McCoy (2010) presentan Interactive SIGHT, una ayuda técnica que proporciona una descripción textual de gráficos de barras simples disponibles en la Web, así como una interfaz de usuario que permite explorar el gráfico realizando diferentes tipos de consultas. Gao, Zhou y Barner (2012) proponen VIEW (Visual Information Extraction Widget), un sistema capaz de extraer información de un gráfico en formato de mapa de bits, incluido el tipo de gráfico y una tabla con los valores representados. Nazemi y Murray (2013) también desarrollan un software

(GraphicReader) pensado para crear una representación textual automatizada del gráfico a la que posteriormente se da acceso a través de su verbalización. Esta representación incluye, en el caso de los gráficos de barras, información como el número de barras utilizadas, los valores de las barras más alta y más pequeña, y de las barras con valores más cercanos, o en el caso de un gráfico circular, el número de porciones representadas y su correspondiente valor. Kallimani, Srinivasa y Eswara (2013) proponen un sistema que, tras procesar individualmente los componentes gráficos y textuales de un gráfico, es capaz de generar descripciones automatizadas en lenguaje natural. Finalmente, De (2018) aunque sin orientarse específicamente al ámbito de la accesibilidad digital, propone un algoritmo para el reconocimiento automático de los datos asociados a un gráfico circular en dos y tres dimensiones, con el objetivo de generar alternativas en forma de tabla.

Trimestre	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1 trimestre	6278,2	5933,3	5444,6	4791,4	4255	3796,1
2 trimestre	6047,3	5622,9	5149	4574,7	3914,3	3490,1
3 trimestre	5943,4	5427,7	4850,8	4320,8	3731,7	3326
4 trimestre	5935,6	5457,7	4779,5	4237,8	3766,7	3304,3

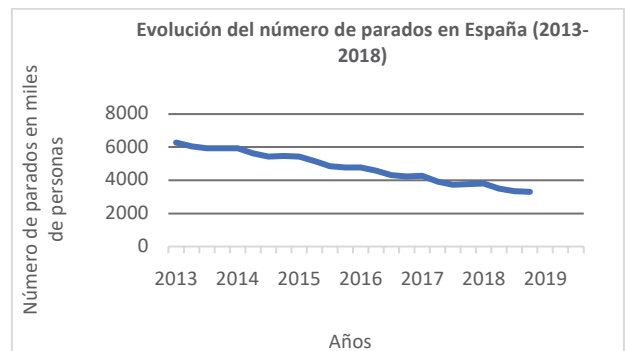


Figura 2: Frente a una tabla de datos, la consulta de un gráfico estadístico permite reconocer mucho más rápido tendencias.⁶

Las tablas contienen exactamente los mismos datos que el gráfico en formato texto. De hecho, las tablas son, en la mayoría de las ocasiones, la fuente de datos a partir de la cual se generan los gráficos estadísticos. Sin embargo, se trata de una alternativa con la que los usuarios que conservan algún resto de visión dejan de verse beneficiados por la capacidad del gráfico para mostrar, de una manera visual y más eficiente, tendencias o comparativas entre variables (figura 2). Por otro lado, el acceso al contenido de una tabla de datos, especialmente, si se trata de una tabla compleja, puede ser arduo para los usuarios de lectores de pantalla, sobre todo, en aquellos casos en los que las tablas no están convenientemente

⁶ Tabla y gráfico elaborado por los autores a partir de los datos disponibles en: <http://tiny.cc/0k4hhz>.

creadas. En este sentido, navegar entre celdas e ir leyendo los valores asociados a sus respectivos encabezados de columna o de columna y fila, implica para los usuarios un mayor uso de su memoria a corto plazo, así como la consecución de una tarea que implica una mayor carga cognitiva.

Para un ordenador o software, el texto es la morfología de contenido más fácil de procesar y manipular, pudiendo convertirlo con relativa facilidad a otros formatos como la voz. Las personas con baja visión usuarias de lectores de pantalla se pueden beneficiar de las alternativas textuales en el sentido que su inclusión favorece una mejor compatibilidad con estas ayudas técnicas. Estos usuarios también se benefician si los autores de los gráficos les ofrecen sistemas que les permitan personalizar la apariencia del gráfico según sus preferencias. Esto es, cambiar las combinaciones de colores, la fuente tipográfica, o el tamaño del texto, entre otras.

6.1.1 Otros elementos textuales presentes en los gráficos estadísticos que pueden influir en su accesibilidad

Más allá de los elementos creados específicamente para funcionar como una alternativa a los elementos no textuales, los gráficos estadísticos acostumbran -o pueden- presentar diferentes textos que los acompañan formando, en algunos casos, parte fundamental de ellos.

Uno de estos elementos son las leyendas, utilizadas para facilitar la interpretación de las marcas y variables utilizadas (Feria, 2010), por ejemplo, relacionando una escala de colores con sus valores numéricos asociados.

Otro elemento presente son las etiquetas. Éstas dotan a los gráficos de información de carácter textual acerca de la variable y categoría representadas. El uso de etiquetas sobre gráficos en formato de imagen de mapa de bits puede comportar problemas para determinados perfiles de usuario. Por un lado, las personas ciegas o con muy poco resto de visión no podrán acceder a ese contenido, a no ser que el documento haya pasado por un proceso de reconocimiento óptico de caracteres que, para obtener buenos resultados, requiere de una imagen de calidad mínima. Por otro lado, las personas con baja visión pueden tener problemas en la lectura de unos textos disponibles en una fuente tipográfica, tamaño o color, que pueden no ser los más adecuados para ellos y que no podrán adaptar fácilmente.

Estos problemas asociados a las etiquetas y que se pueden dar tanto en el contexto de un documento ofimático, como en el de un web, se pueden solventar con el uso de gráficos dinámicos o creados con el estándar SVG. En este tipo de

visualizaciones, el etiquetado de elementos no suele ser una imagen de texto, sino que es texto puro. Esto permite a las ayudas técnicas acceder a ese contenido y transmitirlo al usuario. Por otro lado, también se antoja viable, la posibilidad de ofrecer al usuario diferentes hojas de estilo para que escoja aquella que se adapte mejor a sus necesidades o preferencias. En el mismo sentido, un gráfico de estas características podría adaptarse automáticamente mediante otras ayudas técnicas como, por ejemplo, las que permiten sobrescribir la hoja de estilos del sitio web por una con alto contraste.

Por otro lado, los pies de imagen -o de figura- constituyen una breve explicación o comentario acerca del elemento no textual al que acompañan. En algunos casos, los autores o editores se limitan a utilizarlos en sustitución del título del gráfico, mientras que, en otros casos, incluyen en ellos información adicional de interés para comprender el mensaje que se intenta transmitir, ampliar la información contenida en el gráfico con conclusiones o aportaciones del autor, resumir sus aspectos más relevantes, o proporcionar la fuente de los datos, entre otras.

Del estudio del valor informativo de los pies de imagen de los gráficos publicados en la literatura científica, se han encargado autores como Elzer, Carberry, Chester, Demir, Green, Zukerman, Trnka, (2007), Agarwal y Yu (2009) o Yu, et al. (2009), cuyos estudios han demostrado que se trata de una información necesaria para la comprensión de ese contenido. Esto se debe, en buena parte, a que a menudo contienen los resultados más importantes de la investigación (Cohen, Wang, Murphy, 2003). Con el objetivo de automatizar su creación, Mittal, Carenini, Moore y Roth (1998) proponen un marco de trabajo basado en diferentes sistemas para la generación automatizada de pies de imagen en lenguaje natural.

Por su parte, Splendiani (2015) sintetiza la información recomendada que deberían incluir para ser lo más informativos posibles en el contexto de un trabajo científico. En este sentido y, atendiendo al ámbito que nos ocupa, destacan aspectos como el significado de las abreviaturas utilizadas, el enlace a la fuente de datos, las unidades de medida o los detalles del análisis estadístico (desviación estándar, valor p...).

6.1.2 Metodologías para la elaboración de alternativas textuales

El principal documento de referencia en el ámbito de la accesibilidad digital, las WCAG, no cubre ni ofrece metodologías o pautas específicas para la elaboración de ninguno de los tipos de alternativas textuales vistas en el punto anterior. Sí existen algunos ejemplos de textos alternativos o descripciones largas en algunos documentos de referencia

relacionados con las directrices del W3C (2016c). No obstante, tanto en la literatura científica, como fruto del trabajo de diferentes organizaciones, se han venido publicando en los últimos años diversas recomendaciones en este sentido.

Ault, Deloge, Lapp & Morgan (2002) proponen una serie de elementos que debe incluir la alternativa textual de un gráfico de puntos y líneas. En primer lugar, ha de indicar que se trata de un gráfico de líneas; a continuación, describir el eje horizontal, el vertical, las etiquetas y las unidades utilizadas, además de informar acerca del rango numérico de cada eje; posteriormente, describir la forma de la línea, indicando el punto de inicio, la dirección y el tipo de recorrido (ascendente o descendente); también los puntos y, en el caso de que no los haya, la estimación de sus valores; finalmente, describir el tipo de tendencia. Un proceso que se debe repetir para cada una de las líneas que forman el gráfico, sin olvidar indicar en la descripción si éstas se cruzan en algún punto.

Entre las iniciativas más relevantes relativas a la descripción de gráficos, destacan las directrices del National Center for Accessible Media (Gould, O'Connell, Freed, 2008), ampliadas posteriormente por las Image description guidelines del DIAGRAM Center (2015), que proponen una serie de recomendaciones para la descripción de gráficos de barras, líneas, gráficos circulares o diagramas de dispersión, entre otros. Las directrices se centran en proporcionar alternativas de texto. Fundamentalmente, se recomienda acompañarlos de tablas accesibles que contengan los mismos datos. También se recomienda el etiquetado de los ejes, así como incluir un título y descripción adecuados. Por lo que respecta a los atributos visuales de los gráficos -por ejemplo, los colores-, las directrices especifican en todos los casos que no es necesario describirlos siempre y cuando, en el contexto de una prueba o examen, no se haga referencia explícita a ellos.

El mismo DIAGRAM Center desarrolló un asistente para la descripción de algunos de los tipos de gráficos más comunes, de acuerdo con las directrices elaboradas por el NCAM STEM (Gould, O'Connell, Freed, 2008). En él se proponen una serie de preguntas sobre el gráfico en relación con su título, los títulos de los ejes o los valores mínimos y máximos, hasta llegar a una descripción que se ofrece como resultado final.

6.2 Sonificación

Diferentes autores han explorado el uso de técnicas relacionadas con la "sonificación", definida como una técnica de representación de la información a través del sonido, pero en la que se prescinde de la voz (Kramer, 1994). En este sentido, se ha explorado el mapeo de gráficos a tonos musicales (Cohen, Yu, Meacham, & Skaff, 2005) y vibraciones (Evreinova,

Raisamo, & Vesterinen, 2008), el uso de sonidos para comunicar tendencias (Alty & Rigas, 1998, 2005; Walker & Nees, 2005) o la utilización del volumen, el timbre y la posición, para representar aspectos cuantitativos y cualitativos (Franklin & Roberts, 2003) (Treviranus, Mitchell, & Clark, 2018). También se ha analizado la precisión de estas técnicas utilizando diferentes combinaciones de instrumentos (Brown & Brewster, 2003).

La sonificación es una buena alternativa cuando queremos permitir a los usuarios con discapacidad visual observar las formas de una curva. No obstante, su aplicabilidad es más limitada en el caso de ciertos tipos de gráficos como los diagramas de dispersión (Doush, Pontelli, Simon, Cao, & Ma, 2009). Por otro lado, si bien pueden ser beneficiosas para determinados perfiles de usuario como las personas ciegas, muestran una menor utilidad en los casos de las personas que encontramos bajo el perfil de baja visión. En cuanto a su uso, es importante procurar no interferir en la verbalización de contenido del lector de pantalla, permitiendo a los usuarios activar o desactivar esta funcionalidad cuando así lo precisen.

6.3 Alternativas táctiles

Las alternativas táctiles o hápticas constituyen una solución centrada en convertir la información digital en algo tangible, proporcionando un nuevo medio o dimensión que permite y facilita la exploración y análisis de los datos a personas con discapacidad visual. La creación de versiones táctiles de gráficos y mapas cuenta con una importante tradición, existiendo incluso directrices específicas para su diseño (Braille Authority of North America, 2012).

En relación con este tipo de alternativas, son dos los tipos de gráficos con los que se ha experimentado: gráficos de línea elevada (*raised-line*) y gráficos en relieve (*relief*). Los primeros representan los límites de cada uno de los elementos que forman el gráfico mediante líneas elevadas, mientras que los segundos representan la intensidad o color de los elementos a partir de diferentes alturas (Krufka & Barner, 2006).

Ina (1996), Ladner, Ivory, Rao y Burgstahler (2005), Miele y Marston (2005) y Watanabe, Toshimitsu, Koda, & Minatani (2014) proponen sendas herramientas semiautomatizadas para la conversión de diferentes tipos de gráficos a representaciones táctiles. La propuesta de Ladner et al. (2005) aborda la concepción teórica de un asistente denominado Tactile Graphics, encargado de automatizar un flujo de trabajo para la adquisición de la imagen a través de un escáner, su clasificación (ilustración, diagrama, gráfico...), segmentación (bloques de texto y gráficos), el reconocimiento óptico de caracteres, la

traducción a Braille, la simplificación de la imagen, el diseño de la forma y la creación de la versión táctil.

Las aproximaciones anteriores se basan, en gran medida, en el uso del Braille para representar los gráficos, así como del papel en relieve para las líneas y puntos. No obstante, este tipo de alternativas suponen algunas limitaciones importantes como el hecho de que no todas las personas ciegas o con discapacidad visual conocen el Braille, o la pobre precisión alcanzada con estas técnicas en vistas a representar determinados detalles complejos propios de los gráficos. En el contexto de esta investigación, el uso del Braille tampoco aplica, al tratarse de un sistema de lectura y escritura utilizado, básicamente, por las personas ciegas.

Por otro lado, este tipo de técnicas suponen una importante limitación en la autonomía de las personas al depender de impresoras, software específico y expertos en el uso de unas tecnologías que no están al alcance de todos los públicos, tanto por lo que respecta a su coste, como a las competencias necesarias para utilizarlas (Engel, Weber, 2017).

Otro déficit característico de este tipo de alternativas es el hecho de que el resultado final es una versión estática, sobre la que no se puede o es muy difícil, realizar modificaciones de ningún tipo, y cuya reutilización es también muy limitada. Un déficit solventado, en parte, por otros trabajos que abordan soluciones algo más interactivas (Morash, Russomanno, Gillespie, & O'Modhrain, 2017). Como en el caso, de la sonificación, las alternativas táctiles recogidas en la literatura se centran en aportar soluciones a los usuarios ciegos, y no tanto a los diferentes perfiles de baja visión.

6.4 Presentaciones multimodales

La interacción multimodal propone la posibilidad de acceder al contenido mediante una o varias combinaciones basadas en el texto, el sonido o el tacto (Kouroupetroglou & Tsonos, 2008). Con las presentaciones multimodales se pretende conseguir la accesibilidad de los gráficos para diferentes perfiles de discapacidad mediante la combinación de diferentes tipos de alternativas útiles para cada uno de ellos, constituyendo la que se antoja como la opción más adecuada para conseguir la accesibilidad universal del contenido.

Una buena parte de las alternativas hápticas propuestas en la literatura combinan la generación de alternativas táctiles con la verbalización de información adicional o el uso de la sonificación como solución para mitigar las limitaciones propias de estas soluciones. Algunas propuestas en este ámbito son las de Kennel (1996), Fritz y Barner (1999) que además utilizan una fuente de luz para presentar los ejes y las líneas de cuadrícula

de los gráficos; Ramloll, Yu, Brewster, Ridel, Burtor y Dimigen (2000) que combinan una representación táctil con técnicas de sonificación; Yu, Ramloll & Brewster (2000) y Roth, Kamel, Petrucci & Pun (2002) que analizan el uso del soporte de voz junto con la presentación háptica de gráficos; Yu & Brewster (2003) que utilizan el habla para proporcionar información acerca de los valores del gráfico; Iglesias, Casado, Gutierrez, Barbero, Avizzano, Marcheschi, & Bergamasco (2004) que introducen un entorno virtual que combina señales sonoras y hápticas, a través de una interfaz que permite el acceso a personas con discapacidad visual, a diferentes tipos de mapas y gráficos estadísticos (de líneas, de barras y circulares); McGookin & Brewster (2006) que, además del habla, incorporan dispositivos Phantom Omni -pensados para el modelado 3D-, capaces de captar el tacto, junto con el uso de esquemas de color en alto contraste para aquellos usuarios con algún resto de visión; Wall y Brewster (2006) que proponen el uso de una interfaz que proporciona una versión táctil de un gráfico circular mediante una tableta gráfica y un stylus en combinación con verbalización de información; Doush, et al. (2009) que, a partir de los datos en formato Office Open XML extraídos de un documento Excel, identifican las diferentes instancias disponibles (tipo de gráfico, etiquetas, escalas, etc.) y generan una alternativa táctil en tres dimensiones mediante la API de OpenGL, junto con el soporte de voz proporcionado por la API de Microsoft Speech, que utilizan para proporcionar información acerca del gráfico, así como de la posición en la que se encuentra el usuario; o Goncu, Marriott y Hurst (2010) que analizan la usabilidad de las representaciones táctiles, incluidas pantallas táctiles en combinación con tablas de datos y el soporte del lector de pantalla JAWS. En este último estudio las pruebas con usuarios mostraron una preferencia por la tabla de datos, frente al gráfico táctil; por otro lado, la combinación de audio y tacto, también se demostró más eficiente para la resolución de tareas que cualesquiera de los otros dos sistemas por separado.

6.5 Uso del color

La última actualización de las WCAG ha incorporado un nuevo criterio para alcanzar el nivel de conformidad doble A relativo a los colores. Se hace necesario un contraste mínimo de 3:1 entre colores adyacentes utilizados para cualquier componente de la interfaz de usuario, así como para objetos gráficos como iconos, infografías o gráficos estadísticos.

Olson y Brewer (1997) (2016) han ahondado en la selección de esquemas de colores para el diseño de mapas adecuados para personas con VCD. El trabajo de Brewer orientado al uso de color en mapas ha derivado en la creación de una herramienta específica que permite seleccionar diferentes esquemas de colores seguros para personas con ceguera al color, pensados para la combinación de hasta 4, 9 y 11 categorías distintas de

variables de tipo cualitativo, secuencial y divergente, respectivamente (Brewer & Harrower, 2013). No obstante, esta herramienta no atiende a otros requisitos relacionados con el color y las personas con baja visión, como es la sensibilidad al contraste (imagen 3).

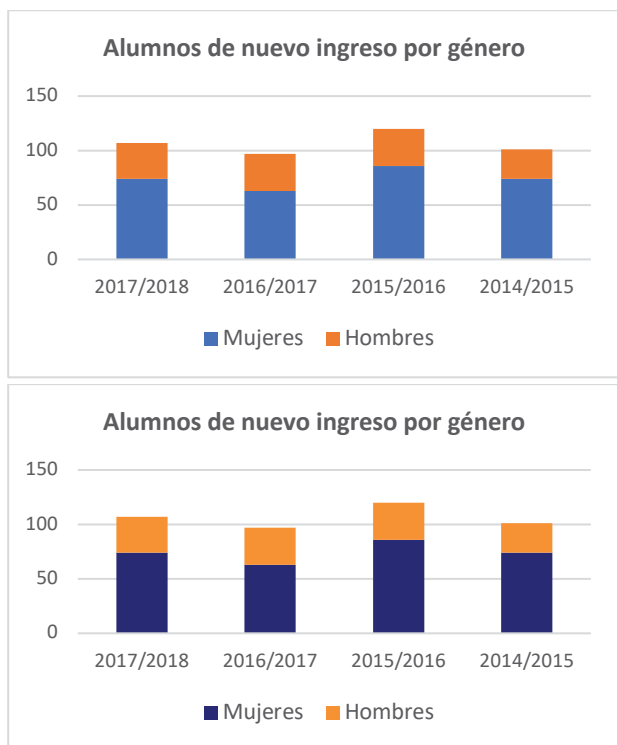


Imagen 3: En la parte superior, se observan los colores ofrecidos por defecto por Microsoft Excel cuando generamos un gráfico de barras apiladas. Este esquema de colores presenta un contraste insuficiente (1.7:1). En la parte inferior, se observa el mismo gráfico, pero con una combinación de colores con un contraste de 6.86:1.

Más allá del trabajo de Brewer, la selección de combinaciones de colores seguras para los diferentes tipos de VCD, también se ha abordado en otros ámbitos como el de la optometría o en el de la interacción persona-ordenador y la visualización de la información (Gretchen, 2012) (Albers, 2018), algunos con finalidades específicas como pueden ser la utilidad del color y otras variables visuales para la consecución de determinadas tareas (Albers, Correll & Gleicher, 2014) (Adnan, Just, & Baillie, 2016), realizar juicios estadísticos sobre grandes colecciones de datos (Correll, Albers, & Franconeri, 2012), o lograr alcanzar una percepción más precisa de los datos científicos a través de mapas de colores (Nuñez, Anderton, & Renslow, 2018).

De la extracción de información de diferente índole de un gráfico a partir del uso de diferentes tipos de marcas y variables visuales (posición, longitud, ángulo, volumen o color se ocupan Cleveland y McGill's (1984). Un trabajo ampliado en cuanto al uso del color se refiere por Mackinlay (1986), con una propuesta que ordena de mayor a menor eficiencia, atributos

como el tono, la saturación o la luminosidad, en vistas a comunicar de la manera más eficiente posible diferentes tipos de variables (cuantitativas, ordinales y nominales).

El uso del color puede resultar efectivo como código nominal en vistas a clasificar elementos bajo diferentes categorías. El resto de las alternativas, incluido el uso de escalas de grises resulta mucho menos efectivo (Ware, 2012). No obstante, deben tenerse en cuenta algunos factores en su selección para asegurar que cualquier persona pueda comprender la información que transmiten. Ware, destaca la distinguibilidad, el contraste suficiente, el tono, evitar combinaciones potencialmente conflictivas para personas con VCD, utilizar un número reducido de colores (entre cinco y diez), aplicarlos en áreas con tamaños suficientes y seguir convenciones culturales universales respecto al significado de cada color. Por otro lado, los experimentos conducidos por Post y Greene (1986) relacionados con la denominación de los colores, desvelaron que sólo existen ocho colores más el blanco, que los participantes fueron capaces de nombrar de manera consistente con, al menos, un 75% de fiabilidad, lo que implica que sólo una reducida cantidad de colores pueden ser utilizados para diferenciar categorías de manera efectiva (Ware, 2012).

El uso de patrones y texturas también puede ayudar a los usuarios con baja visión a distinguir las diferentes variables presentes en un gráfico. Una solución que se antoja interesante no sólo para los diferentes perfiles de VCD, sino también como solución para mejorar la accesibilidad contextual del documento, ante situaciones como, por ejemplo, la imposibilidad de imprimir o visualizar el gráfico en color.

6.6 Gráficos dinámicos

En los últimos años han aparecido bibliotecas de software y aplicaciones web basadas en los estándares HTML, CSS, SVG y JavaScript que permiten la creación de gráficos estadísticos dinámicos e interactivos, como alternativa a la creación de imágenes estáticas en formato de mapa de bits, resultado de la exportación de un gráfico generado a partir de un software ofimático o de diseño. Este tipo de gráficos, si se crean siguiendo criterio de accesibilidad, pueden salvar las limitaciones propias de los formatos de mapa de bits que tradicionalmente se utilizan para distribuir y publicar gráficos estadísticos. El nivel de personalización admitido por estas tecnologías, así como las implementaciones concretas de módulos centrados en mejorar la accesibilidad de algunas de ellas, pueden dar como resultado, gráficos marcados con información adicional sobre cada uno de los elementos que los conforman. Esto resulta en un tipo de contenido con el que los usuarios pueden interactuar más fácilmente, percibiendo

información adicional al pasar el cursor sobre las diferentes partes del gráfico o, en el caso de las personas ciegas o con bajo resto de visión, accediendo a esa misma información mediante una interfaz de teclado y un lector de pantalla.

El uso de imágenes en formato SVG (Scalable Vector Graphics) es una recomendación del W3C para imágenes vectoriales, basada en la utilización del formato XML, en la que las características de éstas se codifican como texto plano. Este formato también puede resultar más accesible que las imágenes en mapa de bits, en la mayoría de las situaciones (W3C, 2000). Entre los beneficios del uso de SVG podemos destacar el hecho de tratarse de una solución totalmente estandarizada que permite trabajar la estructura, contenido y presentación de manera separada (Herman & Dardailler, 2002); la posibilidad de ampliar las imágenes tanto como necesite el usuario sin perder calidad, a diferencia de las imágenes en formato de mapa de bits, cuya calidad se ve afectada a medida que se aumenta su tamaño; su compatibilidad con una amplia variedad de agentes de usuario, incluidos los lectores de pantalla (Pavazza & Pap, 2012); su completa integración en el modelo de objetos del documento (DOM) de las páginas web, lo que permite interactuar con ellos para adaptarlos a diferentes presentaciones o estilos; o la posibilidad de incorporar roles o atributos ARIA para cada uno de los polígonos que conforman el gráfico. Respecto a esta última característica, el W3C ha trabajado no sólo los roles y propiedades relacionados con las imágenes entendidas en sentido amplio, sino también algunos específicos orientados al uso de gráficos estadísticos (W3C, 2015, 2018b). Unos atributos que, junto a los atributos ARIA globales pensados para etiquetar información, describir estados, la orientación, etc., permiten crear elementos con información muy pormenorizada acerca de los atributos y valores presentes en un gráfico. Toda esta información adicional sobre el gráfico además de poder mejorar su accesibilidad también es indexada por los motores de búsqueda, mejorando así también la posibilidad de posicionar mejor este contenido en las páginas de resultados de búsqueda de los buscadores de Internet (Ferraz, 2017).

Sobre la base de estas características y posibilidades del formato SVG, se han desarrollado herramientas de software capaces de transformar automáticamente un gráfico en este formato, en una alternativa táctil con soporte de un sintetizador de voz (Rotard, Otte, & Ertl, 2010). También Weninger, Ortner, Hahn, Druemmer y Miesenberger (2016) buscan mejorar la accesibilidad de los gráficos generados en

formato SVG mediante la integración de información descriptiva y navegacional adicional.

Más allá de estos trabajos centrados en el estándar SVG, la literatura científica no recoge trabajos centrados en analizar las posibilidades de estas herramientas de software. Sólo Gies (2018) y Bert & Hayes (2018) han publicado sendos trabajos centrados en explicar con un carácter más divulgativo, el trabajo que están realizando Scopus y Elsevier, respectivamente, con el objetivo de incorporar estas tecnologías en sus publicaciones. No obstante, en la actualidad, encontramos un importante número de soluciones tecnológicas que dan soporte a la creación de gráficos dinámicos, distribuidas en forma de bibliotecas de JavaScript o integradas como parte de paquetes o aplicaciones comerciales de diseño o creación de visualizaciones. En las tablas 2 y 3, se recogen algunas a modo de ejemplo.

Entre las aplicaciones localizadas, destacan dos por su grado de implantación y consolidación en el mercado, así como por los esfuerzos realizados por parte de sus desarrolladores o comunidades para incorporar criterios de accesibilidad, Data-Driven Documents (D3) y Highcharts.

D3 es una biblioteca de JavaScript basada en el uso de estándares como HTML5, CSS y SVG que, en el contexto de un documento HTML, utiliza funciones en este lenguaje de programación para acceder al DOM, seleccionar elementos HTML, insertar objetos SVG, agregarles información, asignarles estilos, transiciones y otros efectos dinámicos (Bostock, Ogievetsky, & Heer, 2011). En cuanto a características relacionadas con la accesibilidad, el hecho de tratarse de elementos nativos del estándar HTML que se insertan en el DOM les confiere un alto grado de personalización, permitiendo su manipulación en vistas a ofrecer una versión accesible del gráfico. En este sentido, de la comunidad de desarrolladores de D3 han surgido módulos adicionales que permiten aplicar algunas de las posibles soluciones vistas en apartados anteriores. Este es el caso del uso de patrones para rellenar las áreas de los polígonos.⁷⁸

⁷ <https://riccardoscalco.it/textures/>.

⁸ https://iros.github.io/patternfills/sample_d3.html.

Tabla 2: Ejemplos de bibliotecas de Javascript para la creación de gráficos estadísticos.

Biblioteca de JavaScript	Sitio web
AnyChart	https://www.anychart.com
CanvasJS	https://canvasis.com
Chart.js	https://www.chartjs.org
Chartist.js	https://gionkunz.github.io/chartist-js/
Data-Driven Documents (D3)	https://d3js.org/
Google Charts	https://developers.google.com/chart
Highcharts	https://www.highcharts.com/
P5.js	https://p5js.org/libraries/
Recharts	http://recharts.org
Semiotic	https://semiotic.neract.io
Yahoo User Interface (YUI) Charts module	https://yuilibrary.com/yui/docs/charts/
ZingChart	https://www.zingchart.com/

Tabla 3: Ejemplos de aplicaciones web para la creación de gráficos estadísticos.

Aplicación	Sitio web
Fizzcharts	https://fizz.studio/
Flourish	https://flourish.studio
Tableau	https://www.tableau.com/
Tabulae	http://www.triarilabs.com/en/tabulae

Highcharts es otro ejemplo de biblioteca de JavaScript orientada a la creación de gráficos estadísticos dinámicos que cumple con alguna de las premisas anteriores. Los datos mediante los cuales se construyen los gráficos con esta biblioteca se almacenan en un fichero JSON que sirve de base también para alimentar diferentes atributos HTML a los que las ayudas técnicas como los lectores de pantalla pueden acceder. En el caso de Highcharts, se utiliza el atributo aria-label, de la ontología WAI-ARIA para añadir este contenido a los gráficos.

Adicionalmente, Highcharts cuenta con un módulo opcional⁹ que añade algunas características relacionadas con la

accesibilidad como el soporte completo para la navegación por los gráficos a través de una interfaz de teclado, mejoras en la compatibilidad con lectores de pantalla y una sección oculta, pero disponible para las ayudas técnicas, con información adicional sobre el contenido, por ejemplo, el resumen o información sobre las series y puntos y el tipo de gráfico representado.

La biblioteca también ofrece funcionalidades que pueden ser útiles en vistas a mejorar la accesibilidad del contenido a través de los módulos que permiten la exportación del gráfico en diferentes formatos, entre los cuales formatos de imagen de mapa de bits, ficheros CSV o XLS, o la generación automática de tablas HTML dentro de la misma página. En el mismo sentido, otro módulo, permite el uso de tramas de patrones SVG, en cualquier elemento que admita el uso de color.

Finalmente, y, a diferencia de D3, Highcharts cuenta con un servicio en la nube que ofrece un editor visual a través del cual la implementación de este tipo de visualizaciones se democratiza al dejar de ser necesarios conocimientos de la tripleta de estándares de desarrollo web (HTML, CSS y JavaScript). Otro aspecto interesante relacionado con esta versión en la nube de Highcharts es la inclusión, por defecto, del módulo de accesibilidad comentado anteriormente. Esta tecnología también se encuentra disponible en forma de módulos para algunos de los principales sistemas de gestión de contenidos del mercado, como WordPress, Squarespace o Drupal, lo que facilita aún más su integración en los sitios y aplicaciones web.

En el siguiente ejemplo, disponible en línea¹⁰ se puede observar un gráfico de línea implementado con Highcharts que incorpora las siguientes características vistas en apartados anteriores: título del gráfico, títulos de los ejes, leyenda, etiquetas de datos, una descripción larga no visible pero disponible para los lectores de pantalla, el uso de colores seguros para los diferentes tipos de VCD y con un contraste suficiente de acuerdo a las WCAG, el uso de diferentes patrones para cada línea, facilitando así su diferenciación en aquellos casos de problemas con el color, la posibilidad de visualizar los mismos datos en formato de tabla y la incorporación de información sobre cada una de las líneas y los puntos de datos del gráfico mediante el atributo aria-label. También incorpora un selector de colores para que cada usuario pueda personalizar el color de cada línea de acuerdo con sus necesidades.

No podemos realizar un análisis de las aplicaciones para la creación de gráficos estadísticos sin nombrar a la que de alguna

⁹ <https://www.highcharts.com/docs/accessibility/accessibility-module>

¹⁰ <http://rubenalcaraz.es/graficos/udl.html>.

manera ha sido, en las últimas décadas, la herramienta más adoptada para la creación de este tipo de imágenes. Nos referimos a Microsoft Excel, una aplicación que, ha ido incorporando paulatinamente, en paralelo al resto de programas de la *suite* a la que pertenece, características para la mejora de la accesibilidad de los documentos ofimáticos generados. En este sentido, Excel permite añadir títulos al gráfico, a los ejes, a las etiquetas de los ejes, o la incorporación de un texto alternativo. No obstante y, a pesar de incorporar algunas ayudas como una herramienta automática de comprobación de la accesibilidad que atiende a algunas características como el uso de textos alternativos o el contraste entre colores, entre otras, no facilita la creación de gráficos a partir de plantillas accesibles, ni evalúa de acuerdo con los parámetros de las WCAG en cuanto a valores de contraste, ni alerta al creador cuando utiliza combinaciones de colores no seguras para los usuarios con VCD, por citar sólo algunas de sus limitaciones.

7. Discusión

Mediante esta revisión de alcance se ha intentado dar respuesta a las tres preguntas de investigación planteadas.

En cuanto a las aproximaciones propuestas para mejorar la accesibilidad de los gráficos estadísticos para personas con baja visión y VCD, la literatura ha revelado un mayor interés en mejorar la accesibilidad de los gráficos estadísticos para las personas ciegas o con muy poco resto de visión, no así tanto para otros perfiles de discapacidad visual como los que se enmarcan en las categorías de baja visión y VCD. No obstante, si es cierto que las soluciones planteadas para las personas ciegas pueden suponer también importantes mejoras en la accesibilidad para las personas con baja visión, especialmente aquellas con menor resto visual y usuarias de lector de pantalla. Entre las principales aproximaciones destaca la creación de alternativas textuales a partir de la extracción de información de los gráficos, la creación de alternativas táctiles, el uso de esquemas sonoros para comunicar información y, por último, una aproximación basada en ofrecer acceso al gráfico mediante alternativas multimodales. De las aproximaciones presentes en la literatura, la generación de alternativas textuales y las presentaciones multimodales son las que pueden resultar más útiles para los usuarios con baja visión. Las primeras porque el texto es la morfología de contenido más manipulable, lo que permite fácilmente cambiar su presentación, así como convertirlo a voz mediante un sintetizador. Por lo que respecta a las alternativas multimodales, ofrecen diferentes maneras de interactuar y acceder al contenido. En ambos casos, se obtiene la tan necesaria flexibilidad requerida a la hora de trabajar con un perfil de discapacidad como la baja visión con una variabilidad tan alta en cuanto a agudeza y campo de visión,

sensibilidad al contraste, o a la luz. En cuanto a las personas con VCD, se han localizado diferentes trabajos y herramientas que proponen esquemas de colores seguros que, si bien surgen en su mayoría del ámbito cartográfico, también son aplicables al caso que nos ocupa.

Con respecto a la existencia de pautas o guías para la creación de gráficos estadísticos accesibles para personas con baja visión y VCD, sólo se ha localizado la publicada por el Diagram Center dirigida indistintamente a personas ciegas y con baja visión. En este sentido, existe un importante déficit en la existencia de recursos dirigidos a los creadores de contenido para la creación de gráficos accesibles.

Finalmente, con respecto a las soluciones tecnológicas disponibles en el mercado y su capacidad para generar gráficos estadísticos accesibles para personas con baja visión y VCD, se ha localizado una nada despreciable cantidad de bibliotecas de JavaScript orientadas a la creación de gráficos estadísticos dinámicos capaces de adaptarse para resultar accesibles, sobre todo, en comparación a los gráficos publicados como imágenes en formato de mapa de bits. Algunas de ellas incluso ya cuentan con ciertas características nativas o mediante módulos que forman parte de su núcleo orientados a facilitar la integración de características requeridas para asegurar la accesibilidad del contenido.

La revisión de la literatura incluida en este trabajo se ha realizado de acuerdo con las pautas de una revisión de alcance (Grant & Booth, 2009). Ello implica la evaluación preliminar del tamaño potencial y del alcance de la literatura científica disponible, junto con un comentario narrativo los artículos seleccionados. Una revisión sistemática, con un proceso de evaluación formal de la calidad de la evidencia citada en la literatura podría mejorar el rigor de la investigación. No obstante, la intención de los autores es ofrecer una panorámica de las soluciones y tendencias existentes y no evaluar la validez de los experimentos citados.

8. Conclusiones y trabajo futuro

Como síntesis de las normativas, directrices y trabajos citados se pueden apuntar algunas conclusiones. En primer lugar, parece clara la importancia creciente de los gráficos estadísticos en nuestros quehaceres diarios, lo que obliga a prestar especial atención a la accesibilidad de este tipo de recursos. La prevalencia de usuarios con baja visión en la sociedad también es un indicador que nos pone en alerta en cuanto a la necesidad de ofrecer soluciones que aseguren el acceso de este colectivo a la información. Mientras que las soluciones planteadas en la literatura se centran en las personas ciegas, existe un déficit importante de trabajos

centrados en los diferentes perfiles de baja visión. De las cuatro aproximaciones planteadas por la comunidad científica para abordar la accesibilidad de los gráficos, el trabajo con las alternativas textuales y el buen uso de otros elementos de texto como leyendas, pies de imagen o etiquetas pueden ser beneficiosos para los usuarios con baja visión, debido a las características propias de una morfología de contenido altamente flexible y manipulable que puede ser reproducida por un lector de pantalla o modificada para adaptarse a las necesidades de tamaño y contraste de cada usuario. También el uso de colores seguros, un contraste suficiente, y patrones y texturas para diferenciar marcas se antojan como soluciones efectivas de acuerdo con las necesidades y características de las personas con visión cromática deficiente. Todas estas aproximaciones pueden abordarse sobre la base tecnológica,

ya consolidada, de alguna de las bibliotecas de JavaScript existentes para la creación de gráficos estadísticos dinámicos. Una tecnología que, como se ha comentado, ofrece una flexibilidad suficiente para llevar a cabo todas las propuestas anteriormente descritas a partir de personalizaciones o nuevos módulos que presten atención a las necesidades específicas de los diferentes perfiles de usuario con baja visión.

En trabajos futuros, nuestro objetivo es desarrollar una metodología de evaluación de la accesibilidad de gráficos estadísticos orientada a las necesidades de las personas con baja visión y VCD, el análisis de las soluciones tecnológicas existentes para el diseño y creación de gráficos estadísticos accesibles, así como la elaboración de una guía para la creación de gráficos accesibles para este colectivo.

Referencias

- Adnan, M., Just, M., & Baillie, L. (2016). Investigating time series visualizations to improve the user experience. *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 5444-5455.
- Agarwal, S. & Yu, H. (2009). FigSum: automatically generating structured text summaries for figures in biomedical literature. *Proceedings of the 2009 Annual Symposium of the American Medical Information Association (AMIA)*. American Medical Information Association, San Francisco, CA, pp. 6-10.
- Albers, D., Correll, M., & Gleicher, M. (2014). Task-driven evaluation of aggregation in time series visualization. *Proceedings of the 32nd annual ACM conference on Human factors in Computing Systems*, pp. 551-560.
- Albers, D. (2018). Modeling color difference for visualization design. *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, 24(1), pp. 392-399.
- Alty, J. L. & Rigas, D. (1998). Communicating graphical information to blind users using music: the role of context. *Proc. of CHI-98, Human Factors in Computer Systems*, pp. 574-581.
- Alty, J. L., Rigas, D. (2005). Exploring the use of structured musical stimuli to communicate simple diagrams: the role of context. *International journal of human-computer studies*, 62(1), pp. 21-40.
- American Optometric Association. (2019). Color vision deficiency. En: *Glossary of common eye & vision conditions*. <https://www.aoa.org/patients-and-public/eye-and-vision-problems/glossary-of-eye-and-vision-conditions/color-deficiency>.
- Ault, H. K., Deloge, J. W., Lapp, R. W., & Morgan, M. J. (2002). Evaluation of long descriptions of statistical graphics for blind and low vision web users. *8th International Conference, ICCHP 2002*, pp. 517-526.
- Bert, A., Hayes, L. M. (2018). Making charts accessible for people with visual impairments. *Elsevier connect*. <https://www.elsevier.com/connect/making-charts-accessible-for-people-with-visual-impairments>.
- Bostock, M., Ogievetsky, V., & Heer, J. (2011). D3: Data-Driven Documents. *IEEE Trans. Visualization & Comp. Graphics (Proc. InfoVis)*. <http://vis.stanford.edu/files/2011-D3-InfoVis.pdf>
- Bourne, Rupert R. A., Flaxman S.R., Braithwaite T., Cicinelli M.V., Das A., Jonas J.B., Keeffe J., Kempen J.H., Leasher J., Limburg H., Naidoo K., Pesudovs K., Resnikoff S., Silvester A., Stevens G.A., Tahhan N., Wong T.Y. & Taylor H.R. (2017). Magnitude, temporal trends, and projections of the global prevalence of blindness and distance and near vision impairment: a systematic review and meta-analysis. *Lancet global health*, 5(9), pp. 888-897. <https://www.thelancet.com/action/showPdf?pii=S2214-109X%2817%2930293-0>.
- Braille Authority of North America. (2012). *Guidelines and standards for tactile graphics*. <http://brailleauthority.org/tg/web-manual/>.
- Brewer, C. A. (2016). *Designing better maps: a guide for GIS users*. 2nd ed. Redlands (Calif.): ESRI Press.
- Brewer, C. A., Harrower, M. (2013). ColorBrewer 2.0: color advice for cartography. Pennsylvania State University, <http://colorbrewer2.org>.
- Brown, L. M. & Brewster, S. A. (2003). Drawing by ear: interpreting sonified line graphs. *Proceedings of the 2003 International Conference on Auditory Display*. Boston, MA: ICAD, pp. 152-156. <http://icad.org/Proceedings/2003/BrownBrewster2003a.pdf>.
- Carberry, S., Elzer, S. & Demir, S. (2006). Information graphics: an untapped resource for digital libraries. SIGIR 2006: proceedings of the 29th Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval, pp. 6-11.
- Chester, D. & Elzer, A. (2005). Getting computers to see information graphics so users do not have to. *Proceedings of the 15th Int'l Symposium on Methodologies for Intelligent Systems (ISMIS)*, pp. 660-668.
- Cleveland, W. S., McGill, R. (1984). Graphical perception: theory, experimentation, and application to the development of graphical methods. *Journal of the American Statistical Association*, 79(387), pp. 531-554.

- Cohen R. F., Yu, R., Meacham, A., & Skaff, J. (2005). PLUMB: displaying graphs to the blind using an active auditory interface. *Proceedings of the 7th international ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, pp. 182-183.
- Cohen, W.W., Wang, R., Murphy, R.F. (2003). Understanding captions in biomedical publications. *Proceedings of the ninth ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, pp. 499-504.
- Colour Blindness Awareness. (2017). *Colour blindness*. <http://www.colourblindawareness.org/colour-blindness/>.
- Corio, M. & Lapalme, G. (1999). Generation of texts for information graphics. *Proceedings of the 7th European Workshop on Natural Language Generation EWNLG'99*, pp. 49-58.
- Correll, M., Albers, D., Franconeri, S. (2012). Comparing averages in time series data. *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1095-1104.
- De, P. (2018). Automatic data extraction from 2D and 3D pie chart images. *Proceedings of the 8th International Advance Computing Conference, IACC 2018*, p. 20-25.
- Demir, S., Oliver, D., Schwartz, E., Elzer S., Carberry, S., McCoy K. F. (2010). Interactive SIGHT demo: Textual summaries of simple bar charts. *ASSETS'10, Proceedings of the 12th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, p. 25-27.
- DIAGRAM Center. (2015). *Image description guidelines*. <http://diagramcenter.org/table-of-contents-2.html>.
- Doush, I. A., Pontelli, E., Simon, D., Cao, S. T., & Ma, O. (2009). Making Microsoft Excel™ accessible: multimodal presentation of charts. *Proceedings of the 11th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility*. New York, NY: ACM, pp. 147-154.
- Elzer, S., Carberry, S., Chester, D., Demir, S., Green, N., Zukerman, I., Trnka, K. (2007). Exploring and exploiting the limited utility of captions in recognizing intention in information graphics. *Proceedings of the 43rd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL'05)*, pp. 223-230.
- Elzer, S., Schwartz, E., Carberry, S., Chester, D., Demir, S. & Wu, P. (2008). Accessible bar charts for visually impaired users. *Telehealth/AT '08 Proceedings of the IASTED International Conference on Telehealth/Assistive Technologies*, pp. 55-60.
- Engel, C., Weber, G. (2017). Improve the accessibility of tactile charts. *Human-Computer Interaction - INTERACT 2017*, pp. 187-195.
- Evreinova, T. G., Raisamo, R., & Vesterinen, L. (2008). Non-visual interaction with graphs assisted with directional-predictive sounds and vibrations: a comparative study. *Universal access in the information society*, 7(1-2), pp. 93-102. <https://doi.org/10.1007/s10209-007-0105-9>.
- Ferraz, R. (2017). Accessibility and search engine optimization on scalable vector graphics. *4th IEEE International Conference on Soft Computing and Machine Intelligence*, pp. 94-98.
- Ferres, L., Verkhoglyad, P., Lindgaard, G. Boucher, L., Chretien, A. & Lachance, M. (2007). Improving accessibility to statistical graphs: the InspectGraph system. *Proceedings of the 9th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility, ASSETS 2007*.
- Ferres, L., Lindgaard, G., Sumegi L. & Tsuji, B. (2010). Evaluating a Tool for Improving Accessibility to Charts and Graphs. *ACM Transactions on computer-human interaction*, 20,5.
- Feria, M. (2010). Consejos para la confección de gráficos científicos. *Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve*, 20, pp. 45-56.
- Franklin, K. M. & Roberts, J. C. (2003). Pie chart sonification. *Proceedings on Seventh International Conference on Information Visualization*. Los Alamitos, CA: IEEE, pp. 4-9. DOI:10.1109/IV.2003.1217949.
- Fritz, J. P., Barner, K. E. (1999). Design of a haptic data visualization system for people with visual impairments. *IEEE Transactions on rehabilitation engineering*, 7(3), pp. 372-384.
- Gao, J. Zhou, Y. & Barner, K. E. (2012). VIEW: visual information extraction widget for improving chart images accessibility. *19th IEEE International Conference on Image Processing Image Processing (ICIP)*, pp. 2865-2868.
- Gies, Ted. (2018). The ScienceDirect accessibility journey: a case study. *Learned publishing*, 31(1), pp. 69-76.
- Goncu, C., Marriott, K., Hurst, J. (2010). Usability of accessible bar charts. *International Conference on Theory and Application of Diagrams, Diagrammatic Representation and Inference*, pp. 176-181.
- Gould, B., O'Connell, T. & Freed, G. (2008). Effective practices for description of science content within digital talking books. En: *Guidelines for Describing STEM Images*. Boston, MA: WGBH National Center for Accessible Media, WGBH Educational Foundation. http://ncam.wgbh.org/experience_learn/educational_media/stemdx.
- Grant M.J., Booth A. (2009). A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies. *Health Information and Libraries Journal*, 26(2), p. 91-108. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19490148>. DOI: 10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x.
- Greenbacker, C. F., Wu, P., Carberry, S., McCoy, K. F., Elzer, S., McDonald, D. D., Chester, D., Demir, S. (2011). Improving the accessibility of line Graphs in multimodal documents. *Proceedings of the 2nd Workshop on Speech and Language Processing for Assistive Technologies*, p. 52-62.
- Gretchen, M. C. (2012). Increasing accessibility for map readers with acquired and inherited colour vision deficiencies: a re-colouring algorithm for maps". *The cartographic journal*, 49(4), pp. 302-311.
- Herman, I. & Dardailier, D. (2002). SVG linearization and accessibility. *Computer graphics forum*, 21,4, pp. 777-786.
- Iglesias, R., Casado, S., Gutierrez, T., Barbero, J. I., Avizzano, C. A., Marcheschi, S., & Bergamasco, M. (2004). Computer graphics access for blind people through a haptic and audio virtual environment. *Proceedings. Second International Conference on Creating, Connecting and Collaborating through Computing*, pp. 13-18. DOI: 10.1109/HAVE.2004.1391874.

- Ina, S. (1996). Computer graphics for the blind. *ACM SIGCAPH Computers and the Physically Handicapped*, 5, pp. 16-23.
- Kallimani J. S., Srinivasa K. G., Eswara R. B. (2013). Extraction and interpretation of charts in technical documents. *Proceedings of the 2013 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics, ICACCI 2013*, pp. 382-387.
- Kennel, A. R. (1996). Audiograf: a diagram-reader for the blind. *2nd Annual ACM Conference on Assistive Technologies*, pp. 51-56.
- Kouroupetroglou, G & Tsonos, D. (2008). Multimodal accessibility of documents, *Advances in Human-Computer Interaction*. Vienna: I-Tech Education and Publishing, pp. 451-470. DOI: 10.5772/5916.
- Kramer, K. (1994). Auditory display: sonification, audification, and auditory interfaces. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Krufka, S. & Barner K. (2006). A user study on tactile graphic generation methods. *Behaviour and information technology*, 25(4), pp. 297-311.
- Ladner, R. E., Ivory, M. Y., Rao, R. P. N., & Burgstahler, S. (2005). Automating tactile graphics translation. *Assets '05 Proceedings of the 7th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility*. New York, NY: ACM, pp. 150-157.
- Mackinlay, J. (1986). Automating the design of graphical presentations of relational information. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 5, pp. 110-141.
- Mahmood, A., Sarwar, I. S., y Qazi, K. (2014). An automated approach for interpretation of statistical graphics. *Proceedings, 6th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics, IHMSC 2014*, pp. 376-379.
- McGookin, D. K. & Brewster, S. A. (2006). Soundbar: exploiting multiple views in multimodal graph browsing. *4th Nordic Conference on Human-Computer Interaction*, pp. 145-154.
- Meeks, E., Cesal, A., & Pettit, M. (2019). Introducing the Data Visualization Society. *Nightingale: the Journal of the Data Visualization Society*. <https://medium.com/datavisualization-society/introducing-the-data-visualization-society-d13d42ab0bec>.
- Miele, J. A. & Marston, J. (2005). Tactile map automated production (TMAP): project update and research summary. *CSUN International Technology and Persons with Disabilities Conference*, pp. 14-19.
- Mittal, V. O., Careneni, G. Moore, J. D., & Roth, S. (1998). Describing complex charts in natural language: a caption generation system. *Computational Linguistics*, 34, pp. 431-468.
- Morash, V. S., Russomanno, A., Gillespie, R. B., & O'Modhrain S. (2017). Evaluating approaches to rendering Braille text on a high-density pin display. *EEE transactions on haptics*, 11(3).
- Nazemi, A., & Murray, I. (2013). A method to provide accessibility for visual components to vision impaired. *International journal of human computer interaction (IJHCI)*, 4, 1, pp. 54-69.
- Núñez, J. R., Anderton, C. R., Renslow, R. S. (2018). Optimizing colormaps with consideration for color vision deficiency to enable accurate interpretation of scientific data. *PLOS one*, 13(7). DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199239>.
- Olson, J. M. Brewer, C. A. (1997). An evaluation of color selections to accommodate map users with color-vision impairments. *Annals of the Association of American Geographers*, 87(1), pp. 103-134.
- Pavazza, S., Pap, K. The alternative way of creating infographics using SVG technology. *Acta graphica*, 23,1-2, pp. 45-56.
- Pilgrim, Mark. (2007). The longdesc lottery. *The WHATWG blog*. <https://blog.whatwg.org/the-longdesc-lottery>.
- Post, D. L., Greene, E. A. (1986). Color name boundaries for equally bright stimuli on a CRT: phase I. *Society for Information Display, digest of technical papers*, 86, pp. 70-73.
- Ramloll, R. Yu, W., Brewster, S, Ridel, B., Burtor, M., Dimigen, G. (2000). Constructing sonified haptic line graphs for the blind student: first steps. *Proceedings of ASSETS*, pp. 17-25.
- Rotard, M., Otte, K., & Ertl, T. (2010). Exploring Scalable Vector Graphics for visually impaired users. *International Conference on Computers for Handicapped Persons*, pp. 725-730.
- Roth, P., Kamel, H., Petrucci L. S., Pun, T. (2002). A comparison of three nonvisual methods for presenting scientific graphs. *Journal of visual impairment and blindness*, 96(6), pp. 420-428, <https://archiveouverte.unige.ch/unige:47498>.
- Splendiani, B. (2015). *A proposal for the inclusion of accessibility criteria in the authoring workflow of images for scientific articles* (Tesis de doctorado, Universitat de Barcelona, Facultat de Biblioteconomia i Documentació). <http://hdl.handle.net/10803/386242>.
- Trevisan, J., Mitchell, J., & Clark, C. (2018). *Sonification, Floe: the inclusive learning design handbook*. <https://handbook.floeproject.org/Sonification.html>.
- Walker, B. N., & Nees, M. A. (2005). An agenda for research and development of multimodal graphs. *Proceedings of ICAD 05-Eleventh Meeting of the International Conference on Auditory Display, Limerick, Ireland*. http://sonify.psych.gatech.edu/ags2005/pdf/AGS05_WalkerNees.pdf.
- W3C. (2000). *Accessibility features of SVG*. <https://www.w3.org/TR/2000/NOTE-SVG-access-20000807/>.
- W3C. (2015). *SVG Accessibility/ARIA roles for charts*. https://www.w3.org/wiki/SVG_Accessibility/ARIA_roles_for_charts.
- W3C. (2016a). H37: using alt attributes on img elements. En: *Techniques for WCAG 2.0*. <https://www.w3.org/TR/WCAG20-TECHS/H37.html>.
- W3C. (2016b). H45: using longdesc. En: *Techniques for WCAG 2.0*. <https://www.w3.org/TR/WCAG20-TECHS/H45.html>.
- W3C. (2016c). G73: Providing a long description in another location with a link to it that is immediately adjacent to the non-text content. <https://www.w3.org/TR/WCAG20-TECHS/G73.html>.

- W3C. (2018a). *Web content accessibility guidelines (WCAG) 2.1*. <https://www.w3.org/TR/WCAG21/>
- W3C. (2018b). *WAI-ARIA graphics module*. <https://www.w3.org/TR/graphics-aria-1.0/>.
- W3C. (2019a). *Understanding success criterion 1.4.11: non-text contrast*. <https://www.w3.org/WAI/WCAG21/Understanding/non-text-contrast.html>.
- W3C. (2019b). *Complex images*. En: *Web accessibility tutorials: guidance on how to create websites that meet WCAG*. <https://www.w3.org/WAI/tutorials/images/complex/>.
- Wall, S. A., Brewster, S. A. (2006). Tac-tiles: multimodal pie charts for visually impaired users. *Proceedings of the 4th Nordic conference on Human-computer interaction: changing roles*, p. 9-18.
- Ware, C. (2012). *Information visualization: perception for design*. 3rd ed. Amsterdam: Elsevier; Morgan Kaufman.
- Watanabe, T., Toshimitsu Y., Koda, & Minatani, K. (2014). Tactile map automated creation system using OpenStreetMap. *International Conference on Computers for Handicapped Persons, ICCHP 2014. Computers helping people with special needs*. London: Springer, pp. 42-49.
- WebAIM. (2009). *Screen reader user survey #2 results*. <https://webaim.org/projects/screenreadersurvey2/>.
- WebAIM (2013). *Low vision*. <https://webaim.org/articles/visual/lowvision>.
- WebAIM. (2015). *Screen reader user survey #6 results*. <https://webaim.org/projects/screenreadersurvey6/>.
- Weninger, M., Ortner, G., Hahn, T., Druemmer, O. & Miesenberger, K. (2016). ASVG – Accessible Scalable Vector Graphics: intention trees to make charts more accessible and usable. *Journal of assistive technologies*, 9, 4, pp. 239-246.
- WHO. (2019). *Blindness and vision impairment*. En: *Fact sheets*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>.
- Yu, H., Agarwal, S., Johnston, M. & Cohen, A. (2009). Are figure legends sufficient? evaluating the contribution of associated text to biomedical figure comprehension. *Journal of biomedical discovery and collaboration*, 4(1). <https://dx.doi.org/10.1186%2F1747-5333-4-1>.
- Yu, W., Ramloll, R., & Brewster, S. (2000). Haptic graphs for blind computer users. *Workshop on Haptic HCI*, pp. 41-51. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.32.4689&rep=rep1&type=pdf>.
- Yu W. & Brewster, S. (2003). Evaluation of multimodal graphs for blind people. *Universal access in the information society*, 2(2), pp. 105-124. <https://doi.org/10.1007/s10209-002-0042-6>.