

# Gráficos estadísticos accesibles para personas con baja visión y visión cromática deficiente

Rubén Alcaraz Martínez<sup>†</sup>  
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

## ABSTRACT

Statistical charts and graphs 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 includes the four main approaches in which the scientific literature has focused so far to improve the accessibility of statistical charts and graphs: text alternatives, sonification, tactile alternatives and multimodal alternatives, with the purpose of evaluating their suitability for people with low vision and color blindness. Finally, some solutions are suggested that seem technologically viable and that start from the use of JavaScript libraries for the creation of interactive charts, in combination with other standards such as WAI-ARIA to tag and provide information about the content and the characteristics of the charts and the use of patterns to fill areas as a strategy to differentiate visual variables.

## CCS CONCEPTS

• Human-centered computing → Accessibility → Accessibility systems and tools

## KEYWORDS

Charts, graphs, information visualization, color blindness, low-vision users

## 1 Introducción

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, publicidad, redes sociales, 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 [1], requiere que los gráficos sean accesibles para todas las personas.

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 [2]. 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 causados por diferentes enfermedades oculares y afecciones como las cataratas, el glaucoma, la degeneración macular, o la retinopatía diabética.

Por su parte, la visión cromática deficiente (VCD) –también denominada ceguera al color– se refiere a la incapacidad que presentan algunas personas para distinguir ciertas combinaciones de colores. 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 [3].

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, 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. También de otras herramientas integradas en estas aplicaciones o independientes que permiten aplicar cambios de colores en las interfaces, ofreciendo combinaciones de colores que proporcionan un alto contraste. Algunos usuarios con baja visión, también se benefician del uso de punteros mayores y del soporte de voz mediante lectores de pantalla, que combinan con las herramientas anteriores.

Esta investigación aborda la accesibilidad de los gráficos estadísticos, centrándose en las personas con baja visión y visión cromática deficiente. La literatura científica se ha centrado en ambos aspectos, aunque fundamentalmente se ha orientado a la accesibilidad de este tipo de contenido 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. El presente artículo recoge la primera fase de una investigación en curso, consistente en una revisión de los trabajos y soluciones existentes, en vistas a apuntar posibles nuevas vías de representación y metodologías de diseño y creación para este tipo de contenido en el contexto del proyecto.

## 2 Justificación

La Organización Mundial de la Salud cifra en 1300 millones, la cantidad de personas 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 [4]. 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 [5].

Otras discapacidades visuales como la VCD también afectan a una parte sustancial de la población mundial. La Protanopia y, especialmente, la Deuteranopia, son las dos formas más comunes en 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– [6].

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

## 3 Soluciones existentes

La literatura científica recoge, fundamentalmente, cuatro aproximaciones diferentes en vistas a mejorar la accesibilidad de los gráficos estadísticos: la inclusión de alternativas textuales, el uso de esquemas sonoros, la generación de alternativas táctiles y la implementación de presentaciones multimodales.

### 3.1 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 e interactivos.

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.<sup>1</sup> 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 [8] y, por tanto, debería ser breve y conciso [9].

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 [10]. 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 [11][12], lo cierto es que el uso de esta técnica es minoritario en la Web, tal y como muestra el estudio de Pilgrim [13]. A diferencia de los textos alternativos, en este caso sí se trata de una técnica pensada para proporcionar una alternativa lo más completa posible al contenido visual.

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. 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 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 una tarea que implica una mayor carga cognitiva.

Finalmente, en los últimos años han aparecido bibliotecas de software 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 resultado de la exportación de un gráfico generado a partir de un software ofimático o de diseño. El nivel de personalización admitido por estas tecnologías, así como las implementaciones concretas de módulos centrados en mejorar la accesibilidad de algunas de ellas [14], 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.

Para un ordenador o software, el texto es la morfología de contenido más fácil de procesar y manipular, pudiendo convertirla 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, así como con otras soluciones como los magnificadores de texto o los cambios en las combinaciones de colores entre texto y fondo, entre otros.

*3.1.1 Otros elementos textuales presentes en los gráficos estadísticos.* 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 [15], 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.

<sup>1</sup> How long can an "alt" attribute be? DO-IT Factsheet #1257.  
<https://www.washington.edu/accessit/print.html?ID=1257>

Estos problemas asociados a las etiquetas y que se pueden dar tanto en el contexto de un documento ofimático, como en el de un sitio web, se pueden solventar con el uso de gráficos dinámicos interactivos. 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 éste 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 de alto contraste.

Por su parte, Microsoft ha ido incorporando paulatinamente características para la mejora de la accesibilidad de los documentos ofimáticos generados con su paquete Microsoft Office. En este sentido, Excel, su programa para la creación de hojas de cálculo, permite añadir títulos al gráfico, a los ejes, a las etiquetas de los ejes, o la incorporación de un texto alternativo.

El uso de imágenes en formato SVG (Scalable Vector Graphics) es una recomendación del W3C para imágenes vectoriales, basada en el uso 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 determinadas situaciones. 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; la posibilidad de ampliarlas 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; 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 [16][17]. Unos atributos que, junto a los atributos ARIA globales pensados para etiquetar, describir valores, la orientación, etc., permiten crear elementos con información muy pormenorizada acerca de sus atributos y valores.

En base a 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 [18].

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.

Del estudio del valor informativo de los pies de imagen de los gráficos publicados en la literatura científica, se han encargado autores como Agarwal y Yu [19] o Yu, et al. [20], 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 [21].

Por su parte, Splendiani [22] 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 la identificación de las etiquetas, abreviaturas, unidades de medida o los detalles del análisis estadístico (desviación estándar, valor p...).

### 3.1.2 Metodologías para la descripción de gráficos estadísticos.

Las WCAG, no cubren ni ofrecen 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 [23]. 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, et al. [24] proponen una serie de elementos que debe incluir la alternativa textual de un gráfico de puntos y líneas. En primer lugar, 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 indicar el 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 [25], ampliadas posteriormente por las *Image description guidelines* del DIAGRAM Center [9], que proponen una serie de recomendaciones para gráficos de barras, líneas, gráficos circulares o diagramas de dispersión, entre otros. Las directrices se centran en proporcionar alternativas de texto suficientes. Fundamentalmente, se recomienda acompañarlos de tablas accesibles que contengan los mismos datos. También se recomienda el etiquetado de los ejes, así como acompañarlos de 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 [25]. En este asistente, se proponen una serie de preguntas sobre el gráfico en relación con su título, los títulos de los ejes, los valores mínimos y máximos, entre otros, hasta llegar a la descripción deseada.

### 3.2 Esquemas sonoros

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 [26].

En este sentido, se ha explorado el mapeo de gráficos a tonos musicales [27] y vibraciones [28], el uso de sonidos para comunicar tendencias [29] [30] o la utilización del volumen, el timbre y la posición, para representar aspectos cuantitativos y cualitativos [31] [32]. También se ha analizado la precisión de estas técnicas utilizando diferentes combinaciones de instrumentos [33].

Los esquemas sonoros son 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 [34].

Las alternativas basadas en la sonificación, si bien pueden ser beneficiosas para determinados perfiles de usuario como las personas ciegas, muestran una menor utilidad en los casos de los diferentes perfiles de usuario que encontramos bajo el perfil de baja visión.

### 3.3 Alternativas táctiles

Las alternativas táctiles constituyen una alternativa 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.

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 [35].

Ladner et al. [36]; Miele y Marston [37] y Watanabe et al. [38] proponen sendas herramientas semiautomatizadas para la conversión de diferentes tipos de gráficos a representaciones táctiles. La primera de las propuestas aborda la concepción teórica de un asistente denominado Tactile Graphics Assistant, encargado de automatizar un flujo de trabajo consistente en 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.

Como se puede observar, 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 importantes limitaciones 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.

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 [39].

Como en el caso, de los esquemas sonoros, 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.

### 3.4 Presentaciones multimodales

La interacción multimodal propone al usuario la posibilidad de acceder al contenido mediante una o varias combinaciones basadas en el texto, el sonido o el tacto [40]. 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 esquemas sonoros como solución para mitigar las limitaciones propias de estas soluciones. Algunas propuestas en este ámbito son las de Fritz y Barner [41] que además utilizan una fuente de luz para presentar los ejes y las líneas de cuadrícula de los gráficos; Yu, et al. [42] y Roth, et al. [43] que analizan el uso del soporte de voz junto con la presentación háptica de gráficos; Yu y Brewster [44] que utilizan el habla para proporcionar información acerca de los valores del gráfico; Iglesias, et al. [45] 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 y Brewster [46] 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; o Doush, et al. [47] 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.

### 3.5 Uso del color

Olson y Brewer [48][49] han ahondado en la selección de esquemas de colores para el diseño de mapas adecuados para personas con VCD. El trabajo de Brewer ha derivado en la creación de una herramienta específica que permite seleccionar diferentes esquemas de colores seguros para personas ceguera al color, pensados para la combinación de hasta nueve categorías distintas [50].

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 [51][52], algunos con finalidades específicas como pueden ser la utilidad del color y otras variables visuales para la consecución de determinadas tareas [53] [54], realizar juicios estadísticos sobre grandes colecciones de datos [55], o lograr alcanzar una percepción más precisa de los datos científicos a través de mapas de colores [56].

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 [57]. Un trabajo ampliado en cuanto al uso del color se refiere por Mackinlay [58], 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 [59]. 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 Green [60]

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 [59].

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, en situaciones como, por ejemplo, ante la imposibilidad de imprimir el gráfico en color.

## 4 Propuestas

Como se ha comentado en apartados anteriores, el uso de gráficos dinámicos interactivos puede salvar las limitaciones propias de los formatos de imagen estáticos que tradicionalmente se utilizan para comunicar gráficos estadísticos. Actualmente, encontramos varias soluciones tecnológicas que dan soporte a su creación. De ellas, destacan dos por su grado de implantación y consolidación en el mercado: Data-Driven Documents (D3) y Highcharts.

D3<sup>2</sup> 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 [61]. 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 SVG para rellenar las áreas de los polígonos.<sup>3</sup>

<sup>4</sup>

Highcharts<sup>5</sup> 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 opcional que añade algunas características relacionadas con la accesibilidad

<sup>2</sup> <https://d3js.org>.

<sup>3</sup> <https://riccardoscalco.it/textures>.

<sup>4</sup> [https://iros.github.io/patternfills/sample\\_d3.html](https://iros.github.io/patternfills/sample_d3.html).

<sup>5</sup> <https://www.highcharts.com>.

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 sobre HTML, CSS o JavaScript. 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 web y aplicaciones.

En el siguiente ejemplo disponible en línea,<sup>6</sup> 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.

## 5 Conclusiones y trabajo futuro

La importancia creciente de los gráficos estadísticos, así como la prevalencia de usuarios con baja visión en la sociedad, obliga a prestar especial atención a la accesibilidad de este tipo de recursos. 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, patrones y texturas 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 este sentido, la posibilidad de describir de manera más completa la información y función del gráfico mediante WAI-ARIA, la implementación de esquemas de colores seguros, de una colección de tramas de patrones adecuada y, finalmente, la elaboración de unas directrices que contemplen todos estos aspectos, son la principal línea de trabajo futura.

## REFERENCIAS

- [1] Elijah Meeks; Amy Cesal; Mollie Pettit (2019). Introducing the Data Visualization Society. Data Visualization Society, <https://medium.com/data-visualization-society/introducing-the-data-visualization-society-d13d42ab0bec>.
- [2] WebAIM (2013). Low vision, <https://webaim.org/articles/visual/lowvision>.
- [3] American Optometric Association (2019). Color vision deficiency. 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>.
- [4] WHO (2018). Blindness and vision impairment. Fact sheets, <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>.
- [5] Rupert R. A. Bourne (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, 888–897, <https://www.thelancet.com/action/showPdf?pii=S2214-109X%2817%2930293-0>.
- [6] Colour Blindness Awareness (2017). Colour blindness. <http://www.colourblindawareness.org/colour-blindness/>.
- [7] W3C (2019). Understanding success criterion 1.4.11: non-text contrast, <https://www.w3.org/WAI/WCAG21/Understanding/non-text-contrast.html>.
- [8] W3C (2016). H37: using alt attributes on img elements, <https://www.w3.org/TR/WCAG20-TECHS/H37.html>.
- [9] DIAGRAM Center (2015). Image description guidelines, <http://diagramcenter.org/table-of-contents-2.html>.
- [10] W3C (2016). H45: using longdesc, <https://www.w3.org/TR/WCAG20-TECHS/H45.html>.
- [11] WebAIM (2009). Screen reader user survey #2 results, <https://webaim.org/projects/screenreadersurvey2/>.
- [12] WebAIM (2015). Screen reader user survey #6 results, <https://webaim.org/projects/screenreadersurvey6/>.
- [13] Mark Pilgrim (2007). The longdesc lottery. The WHATWG blog, <https://blog.whatwg.org/the-longdesc-lottery>.
- [14] Ted Gies (2018). The ScienceDirect accessibility journey: a case study. *Learned publishing*, 31(1), 69–76.
- [15] Manuel Fera (2010). Consejos para la confección de gráficos científicos. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, 20, 45–56.
- [16] W3C (2018). WAI-ARIA graphics module: W3C recommendation 02 October 2018, <https://www.w3.org/TR/graphics-aria-1.0/>.
- [17] W3C (2015). SVG Accessibility/ARIA roles for charts, [https://www.w3.org/wiki/SVG\\_Accessibility/ARIA\\_roles\\_for\\_charts](https://www.w3.org/wiki/SVG_Accessibility/ARIA_roles_for_charts).
- [18] Martin Rotard; Kerstin Otte; Thomas Ertl (2010). Exploring Scalable Vector Graphics for visually impaired users. *International Conference on Computers for Handicapped Persons*, 725–730.
- [19] Shashank Agarwal; Hong Yu (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, 6–10.
- [20] Hong Yu; et al. (2009). Are figure legends sufficient? evaluating the contribution of associated text to biomedical figure comprehension. *Journal of*

<sup>6</sup> <http://rubenalcaraz.es/graficos/grafico-lineas.html>.

- biomedical discovery and collaboration. 4(1). DOI: <https://dx.doi.org/10.1186%2F1747-5333-4-1>.
- [21] William W. Cohen; Richard Wang; Robert F. Murphy (2003). Understanding captions in biomedical publications. Proceedings of the ninth ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 499–504.
- [22] Bruno Splendiani (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>.
- [23] W3C (2016). 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>.
- [24] H. K. Ault; et al. (2002). Evaluation of long descriptions of statistical graphics for blind and low vision web users. Klaus Miesenberger; Joachim Klaus; Wolfgang Zagler, (Eds.). 8th International Conference, ICCHP 2002, 517–526.
- [25] Bryan Gould; Trisha O'Connell; Geoff Freed (2008). Effective practices for description of science content within digital talking books. Guidelines for Describing STEM Images. WGBH National Center for Accessible Media, WGBH Educational Foundation, Boston, MA, [http://ncam.wgbh.org/experience\\_learn/educational\\_media/stemdx](http://ncam.wgbh.org/experience_learn/educational_media/stemdx).
- [26] Gregory Kramer (Ed.). 1994. *Auditory display: sonification, audification, and auditory interfaces*. Addison-Wesley, Reading, MA.
- [27] Robert F. Cohen; et al. (2005). PLUMB: displaying graphs to the blind using an active auditory interface. Proceedings of the 7th international ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility, 182–183.
- [28] Tatiana G. Evreinova; et al. (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), 93–102. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10209-007-0105-9>.
- [29] James L. Alty; Dimitrios Rigas (2005). Exploring the use of structured musical stimuli to communicate simple diagrams: the role of context. International journal of human-computer studies. 62(1), 21–40.
- [30] Bruce N. Walker; Michael A. Nees (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](http://sonify.psych.gatech.edu/ags2005/pdf/AGS05_WalkerNees.pdf).
- [31] K. M. Franklin; J. C. Roberts (2003). Pie chart sonification. Proceedings on Seventh International Conference on Information Visualization. IEEE, Los Alamitos, CA, 4–9. DOI:10.1109/IV.2003.1217949.
- [32] Jutta Trevisanus; Jess Mitchell; Colin Clark (2018). Sonification, Floe: the inclusive learning design handbook, <https://handbook.floeproject.org/Sonification.html>.
- [33] Lorna M. Brown; Stephen A. Brewster (2003). Drawing by ear: interpreting sonified line graphs. Proceedings of the 2003 International Conference on Auditory Display. ICAD, Boston, MA, 152–156, <http://icad.org/Proceedings/2003/BrownBrewster2003a.pdf>.
- [34] Iyad Abu Doush; et al. (2009). Making Microsoft Excel™ accessible: multimodal presentation of charts. Proceedings of the 11th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility. ACM, New York, NY, 147–154.
- [35] S. Krufka; K. Barner (2006). A user study on tactile graphic generation methods. Behaviour and information technology. 25(4), 297–311.
- [36] Richard E. Ladner, et al. (2005). Automating tactile graphics translation. Assets '05 Proceedings of the 7th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility. ACM, New York, NY, 150–157.
- [37] J. A. Miele; J. Marston (2005). Tactile map automated production (TMAP): project update and research summary. CSUN International Technology and Persons with Disabilities Conference, 14–19.
- [38] Tetsuya Watanabe; et al. (2014). Tactile map automated creation system using OpenStreetMap. Klaus Miesenberger; et al. International Conference on Computers for Handicapped Persons, ICCHP 2014. Computers helping people with special needs. Springer, London, 42–49.
- [39] Valerie S. Morash; et al. (2017). Evaluating approaches to rendering Braille text on a high-density pin display. IEEE transactions on haptics, 11(3).
- [40] Georgios Kouroupetroulou and Dimitrios Tsonos (2008). Multimodal accessibility of documents, Advances in Human-Computer Interaction. I-Tech Education and Publishing, Vienna, 451–470. DOI: 10.5772/5916.
- [41] Jason P. Fritz; Kenneth, E. Barner (1999). Design of a haptic data visualization system for people with visual impairments. IEEE Transactions on rehabilitation engineering, 7(3), 372–384.
- [42] Wai Yu; et al. (2000). Haptic graphs for blind computer users. Workshop on Haptic HCI, 41–51, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.32.4689&rep=rep1&type=pdf>.
- [43] Patrick Roth; Hesham Kamel; Lori Stefano Petrucci; Thierry Pun (2002). A comparison of three nonvisual methods for presenting scientific graphs. Journal of visual impairment and blindness. 96(6), 420–428, <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:47498>.
- [44] Wai Yu; Stephen Brewster (2003). Evaluation of multimodal graphs for blind people. Universal access in the information society. 2(2), 105–124. <https://doi.org/10.1007/s10209-002-0042-6>.
- [45] R. Iglesias; et al. (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, 13–18. DOI: 10.1109/HAVE.2004.1391874.
- [46] D. K. McGookin; S. A. Brewster (2006). Soundbar: exploiting multiple views in multimodal graph browsing. 4th Nordic Conference on Human-Computer Interaction, 145–154.
- [47] Iyad Abu Doush; et al. (2009). Making Microsoft Excel™ accessible: multimodal presentation of charts. Proceedings of the 11th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility, ACM, New York, NY, 147–154.
- [48] Judy M. Olson; Cynthia A. Brewer (1997). An evaluation of color selections to accommodate map users with color-vision impairments. Annals of the Association of American Geographers, 87(1), 103–134.
- [49] Cynthia A. Brewer (2016). Designing better maps: a guide for GIS users. 2nd ed. ESRI Press, Redlands (Calif.).
- [50] Cynthia A. Brewer; Mark Harrower (2013). *ColorBrewer 2.0: color advice for cartography*. Pennsylvania State University, <http://colorbrewer2.org>.
- [51] Maria Culp Gretchen (2012). Increasing accessibility for map readers with acquired and inherited colour vision deficiencies: a re-colouring algorithm for maps". The cartographic journal. 49(4), 302–311.
- [52] Danielle Albers Szafir (2018). Modeling color difference for visualization design. IEEE transactions on visualization and computer graphics. 24(1), 392–399.
- [53] Danielle Albers; Michael Correll; Michael Gleicher (2014). Task-driven evaluation of aggregation in time series visualization. Proceedings of the 32nd annual ACM conference on Human factors in Computing Systems, 551–560.
- [54] Muhammad Adnan; Mike Just; Lynne Baillie (2016). Investigating time series visualizations to improve the user experience. Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 5444–5455.
- [55] Michael Correll; Danielle Albers; Steve Franconeri (2012). Comparing averages in time series data. Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 1095–1104.
- [56] Jamie R. Nuñez; Christopher R. Anderton; Ryan S. Renslow (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>.
- [57] William S. Cleveland; Robert McGill (1984). Graphical perception: theory, experimentation, and application to the development of graphical methods. Journal of the American Statistical Association. 79(387), 531–554.
- [58] J. Mackinlay (1986). Automating the design of graphical presentations of relational information. ACM Transactions on Graphics (TOG), 5, 110–141.
- [59] Colin Ware (2012). *Information visualization: perception for design*. 3rd ed. Elsevier: Morgan Kaufman, Amsterdam.
- [60] D. L. Post; E. A. Greene (1986). Color name boundaries for equally bright stimuli on a CRT: phase I. Society for Information Display, digest of technical papers, 86, 70–73.
- [61] Michael Bostock, Vadim Ogievetsky and Jeffrey Heer (2011). D3: Data-Driven Documents. IEEE Trans. Visualization & Comp. Graphics (Proc. InfoVis), <http://vis.stanford.edu/files/2011-D3-InfoVis.pdf>