



Universitat de Lleida

Gráficos estadísticos para personas con baja visión: desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

Rubén Alcaraz Martínez

<http://hdl.handle.net/10803/671931>



Gráficos estadísticos para personas con baja visión: desarrollo de una metodología para su evaluación heurística està subjecte a una llicència de [Reconeixement-NoComercial-CompartirIgual 4.0 No adaptada de Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Les publicacions incloses en la tesi no estan subjectes a aquesta llicència i es mantenen sota les condicions originals.

(c) 2021, Rubén Alcaraz Martínez

Tesis doctoral

Gráficos estadísticos para personas con baja visión: desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

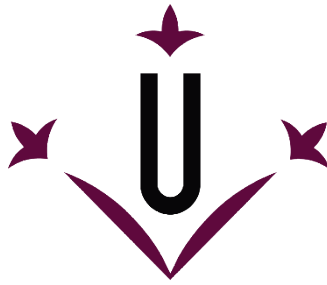
Rubén Alcaraz Martínez

Memoria presentada para optar al grado de Doctor por la Universitat de Lleida
Programa de doctorado en Ingeniería y Tecnologías de la Información

Directores

Dr. Toni Granollers i Saltiveri, Universitat de Lleida

Dra. Mireia Ribera Turró, Universitat de Barcelona



Universitat de Lleida

TESIS DOCTORAL

**Gráficos estadísticos para personas con
baja visión: desarrollo de una metodología
para su evaluación heurística**

Rubén Alcaraz Martínez

Memoria presentada para optar al grado de Doctor por la Universitat de Lleida
Programa de Doctorado en Ingeniería y Tecnologías de la Información

Directores

Toni Granollers Saltiveri
Mireia Ribera Turró

Tutor

Toni Granollers Saltiveri

febrero, 2021

Esta tesis doctoral se encuentra publicada bajo licencia Creative Commons BY-NC-SA.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>



Eres libre de compartir (copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato) y adaptar (remezclar, transformar y construir a partir del material) bajo los siguientes términos:

- **Atribución:** debes citar al autor de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios.
- **No comercial:** no puedes utilizar el material con propósitos comerciales.
- **Compartir igual:** si remezclas, transformas o creas a partir de este documento, debes distribuir tu contribución, bajo la misma licencia del original.

Aquesta tesi doctoral es troba publicada sota llicència Creative Commons BY-NC-SA.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.ca>



Sou lliure de: Compartir (copiar i redistribuir el material en qualsevol mitjà i format) y d'adaptar (remesclar, transformar i crear a partir del material) sota els termes següents:

- **Reconeixement:** heu de reconèixer l'autoria de manera apropiada, proporcionar un enllaç a la llicència i indicar si heu fet algun canvi.
- **No Comercial:** no podeu utilitzar el material per a finalitats comercials.
- **Compartir igual:** si remescleu, transformeu o creeu a partir del material, heu de difondre les vostres creacions amb la mateixa llicència que l'obra original.

This PhD thesis is licensed under the Creative Commons BY-NC-SA.

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.en>



You are free to share (copy and redistribute the material in any medium or format) and adapt (remix, transform, and build upon the material) under the following terms:

- **Attribution:** *you must give appropriate credit, provide a link to the license, and indicate if changes were made.*
- **Noncommercial:** *you may not use the material for commercial purposes.*
- **Share alike:** *If you remix, transform, or build upon the material, you must distribute your contributions under the same license as the original.*

Resumen

Introducción: Los gráficos estadísticos juegan un papel fundamental en la transmisión y simplificación de la información, hasta el punto de poder ser considerados en sí mismos una ayuda técnica, un tipo de accesibilidad cognitiva mediante la cual podemos utilizar nuestro sistema visual para reducir el esfuerzo que supone interpretar datos tabulares. Por ello es importante que los gráficos estadísticos puedan llegar a todas las personas en igualdad de condiciones con independencia de su diversidad funcional. Entre las discapacidades visuales destaca, por su elevada prevalencia, la baja visión. La baja visión es una condición visual que implica una reducción sustancial del sentido de la vista que no puede ser corregida con lentes correctoras, tratamientos farmacológicos o cirugía, y que impacta notablemente en las actividades diarias de las personas que la presentan. Si bien la literatura científica ha abordado la cuestión de la accesibilidad de los gráficos estadísticos para determinados colectivos como el de las personas ciegas, ningún trabajo previo se ha centrado en las personas con baja visión, contribuyendo así a invisibilizar más a un colectivo poco reconocido en la sociedad e igualmente poco tratado en la literatura científica en comparación a otros perfiles de discapacidad.

Objetivos: el objetivo principal de esta tesis es identificar buenas y malas prácticas, así como sistematizar elementos y características que puedan facilitar o dificultar el acceso de las personas con baja visión a los gráficos estadísticos. A partir de este análisis se pretende desarrollar una lista de indicadores heurísticos para la evaluación de estos elementos.

Metodología: tras una revisión de la literatura publicada y, siguiendo la metodología propuesta por Quiñones, *et al.* (2018), se desarrolló una lista de indicadores heurísticos formada por dieciocho principios para la evaluación de la accesibilidad de los gráficos estadísticos para personas con baja visión. La lista de indicadores se validó a través de su aplicación en tres casos reales en los cuales se evaluaron gráficos de diarios digitales nacionales e internacionales, revistas científicas del área de la información y la documentación, y un último conjunto de gráficos publicados por gobiernos y organizaciones no gubernamentales relacionadas con la salud en el contexto de la comunicación de la pandemia provocada por el Covid-19. La validación a través de la aplicación de la lista de indicadores en estas evaluaciones se complementó con las métricas cuantitativas propuestas por Jiménez, *et al.* (2017).

Resultados: la validación de la lista de indicadores heurísticos demostró que los principios propuestos son capaces de detectar una mayor cantidad de problemas únicos, presentan una mejor distribución de los problemas entre heurísticos y ayudan a detectar problemas más severos y específicos que las WCAG 2.1. Como complemento al conjunto de indicadores se desarrolló una guía específica para los evaluadores que incluye una descripción detallada de cada principio, así como ejemplos de puntuaciones. Finalmente, a partir de la lista de heurísticos se elaboraron unas directrices para la creación de gráficos accesibles para personas con baja visión.

Conclusiones: se han identificado diversos elementos y características presentes en los gráficos estadísticos que resulta necesario considerar en la evaluación de su accesibilidad para personas con baja visión. El trabajo realizado contribuye a cubrir un vacío en la literatura científica en el ámbito de la accesibilidad dirigida a las personas con baja visión. La evaluación en diversos sectores mediante los indicadores heurísticos identificados ha evidenciado una importante cantidad y variedad de problemas de accesibilidad en sus gráficos estadísticos, demostrando así la necesidad de contar con herramientas de evaluación específicas para este tipo de recursos de información. El impacto de esta tesis va más allá de la aportación de una metodología aplicable con propósitos evaluativos, al mostrarse útil también para la confección de una guía de buenas prácticas para la creación y desarrollo de gráficos accesibles para personas con baja visión.

Resum

Gràfics estadístics per a persones amb baixa visió: desenvolupament d'una metodologia per a l'avaluació heurística

Introducció: els gràfics estadístics juguen un paper fonamental en la transmissió i simplificació de la informació, fins al punt que poden ser considerats per si mateixos com una ajuda tècnica, un tipus d'accessibilitat cognitiva mitjançant la qual podem emprar el nostre sistema visual per a reduir l'esforç que suposa interpretar dades tabulars. És per aquest motiu que és important que els gràfics estadístics puguin arribar a totes les persones en igualtat de condicions amb independència de la seva diversitat funcional. Entre les discapacitats visuals destaca, per la seva elevada prevalença, la baixa visió. La baixa visió és una condició visual que implica una reducció substancial del sentit de la vista que no pot ser corregida amb lents correctores, tractaments farmacològics o cirurgia, i que impacta notablement en les activitats diàries de les persones que la presenten. Si bé la literatura científica ha abordat la qüestió de l'accessibilitat dels gràfics estadístics per a determinats col·lectius com el de les persones cegues, cap treball previ s'ha centrat en les persones amb baixa visió, contribuint d'aquesta manera a invisibilitzar més a un col·lectiu poc reconegut en la societat i igualment poc tractat en la recerca científica en comparació amb altres perfils de discapacitat.

Objectius: l'objectiu principal d'aquesta tesi és identificar bones i males pràctiques, així com sistematitzar elements i característiques que puguin facilitar o dificultar l'accés de les persones amb baixa visió als gràfics estadístics. A partir d'aquesta anàlisi es pretén desenvolupar una llista d'indicadors heurístics per a l'avaluació d'aquests elements.

Metodologia: després d'una revisió de la literatura publicada i, seguint la metodologia proposada per Quiñones, *et al.* (2018), es va desenvolupar una llista d'indicadors heurístics formada per divuit principis per a l'avaluació de l'accessibilitat dels gràfics estadístics per a persones amb baixa visió. La llista d'indicadors es va validar a través de la seva aplicació en tres casos reals en els quals es van avaluar gràfics de diaris digitals nacionals i internacionals, revistes científiques de l'àrea de la informació i la documentació, i un darrer conjunt de gràfics publicats per governs i organitzacions no governamentals relacionades amb la salut en el context de la comunicació de la pandèmia provocada per la Covid-19. La validació mitjançant l'aplicació de la llista d'indicadors en aquestes avaluacions es va complementar amb les mètriques quantitatives proposades per Jiménez *et al.* (2017).

Resultats: la validació de la llista d'indicadors heurístics demostrà que els principis proposats són capaços de detectar una major quantitat de problemes únics, presenten una millor distribució dels problemes entre heurístics i ajuden a detectar problemes més severos i específics que les WCAG 2.1. Com a complement al conjunt d'indicadors es va desenvolupar una guia específica per als avaluadors que inclou una descripció detallada de cada principi, així com exemples de puntuacions. Finalment, a partir de la llista d'heurístics es van elaborar unes directrius per a la creació de gràfics accessibles per a persones amb baixa visió.

Conclusions: s'han identificat diversos elements i característiques presents en els gràfics estadístics que resulta necessari considerar en l'avaluació de la seva accessibilitat per a persones amb baixa visió. El treball realitzat contribueix a cobrir un buit en la literatura científica de l'àmbit de l'accessibilitat dirigida a les persones amb baixa visió. L'avaluació en diversos sectors mitjançant els indicadors heurístics identificats ha evidenciat una important quantitat i varietat de problemes d'accessibilitat en els seus gràfics estadístics, demostrant així la necessitat de comptar amb eines d'avaluació específiques per aquest tipus de recursos d'informació. L'impacte d'aquesta tesi va més enllà de l'aportació d'una metodologia aplicable amb propòsits avaluatius, en mostrar-se útil també per a la confecció d'una guia de bones pràctiques per a la creació i desenvolupament de gràfics accessibles per a persones amb baixa visió.

Abstract

Statistical charts for people with low vision: development of a methodology for its heuristic evaluation

Introduction: Statistical charts have a fundamental role in the transmission and simplification of information, to the point that they can be considered in themselves an assistive technology, a type of cognitive accessibility through which we can use our visual system to reduce the effort that involves interpreting tabular data. For this reason, it is important that people with disabilities can access statistical charts on equal terms. Among visual disabilities, low vision stands out due to its high prevalence. Low vision is a visual condition that implies a substantial reduction in the sense of sight that cannot be corrected with corrective lenses, pharmacotherapy, or surgery, and that significantly impacts the daily activities of people who present it. Although the scientific literature has addressed the issue of the accessibility of statistical charts for certain groups such as blind people, no previous work has focused on people with low vision, thus contributing to make a less recognized group more invisible in society.

Purpose: the main objective of this thesis is to identify good and bad practices, as well as to systematize elements and characteristics that can facilitate or hinder the access of people with low vision to statistical charts. From this analysis it is intended to develop a list of heuristic indicators for the evaluation of these elements.

Methodology: after a literature review and, following the methodology proposed by Quiñones, *et al.* (2018), a list of heuristic indicators was developed consisting of eighteen principles for the evaluation of the accessibility of statistical charts for people with low vision. The list of indicators was validated through its application in three real cases: charts from national and international digital newspapers, library and information science journals, and a final set of charts published by governments and non-governmental organizations in the context of the communication of the pandemic caused by Covid-19. The validation through the application of the list of indicators in these evaluations was complemented with the quantitative metrics proposed by Jiménez, *et al.* (2017).

Results: the validation of the list of heuristic indicators showed that the proposed principles can detect a greater number of unique problems, present a better distribution of the problems among heuristics, and help detect more severe and specific problems than WCAG 2.1. As a complement to the set of indicators, a specific guide was developed for evaluators that includes a detailed description of each principle, as well as examples of scores. Finally, based on the list of heuristics, guidelines were developed for the creation of accessible charts for people with low vision.

Conclusions: various elements and characteristics present in the statistical charts have been identified that need to be considered in the evaluation of their accessibility for people with low vision. This research contributes to filling a gap in the scientific literature in the field of accessibility aimed at people with low vision. The evaluation in various sectors using the identified heuristic indicators has revealed a significant number and variety of accessibility problems in their statistical charts, thus demonstrating the need for specific evaluation tools for this type of information resources. The impact of this thesis goes beyond the contribution of a useful methodology for evaluative purposes, as it is also useful for the preparation of a guide of good practices for the creation and development of accessible charts for people with low vision.

Agradecimientos

La realización de este doctorado ha sido una experiencia grata y muy enriquecedora. También dura en algunos momentos por tener que combinarlo con mi actividad profesional y la docencia como profesor asociado, así como con el resto de las obligaciones personales a las que he tenido que atender a lo largo de estos tres cursos. La culminación de esta tesis no hubiera sido posible sin la colaboración de algunas personas que me han ayudado y acompañado de diferentes maneras a lo largo de esta investigación.

En primer lugar, me gustaría agradecer a mis directores de tesis, **Mireia Ribera** y **Toni Granollers**, la gran labor realizada. A Mireia le debo la infinita generosidad con la que me ha tratado desde que cursé la asignatura Accesibilidad en el máster de Gestión de Contenidos Digitales de la Universidad de Barcelona, el haberme introducido en el mundo de la investigación a través del Grupo Adaptabit, sus concienzudas revisiones de todos y cada uno de los trabajos que conforman esta tesis, indicarme cual era el camino a seguir cada vez que me desviaba del objetivo a alcanzar y el afecto que siempre me ha demostrado. A Toni por aceptar dirigir esta tesis, la confianza depositada en mí, por sus sabios consejos a lo largo de todo el proceso de investigación y por su gran disponibilidad en todo momento. En definitiva, gracias a los dos por la inmensa cantidad de horas que me habéis dedicado. También a **Afra Pascual** y **Jordi Roig**, colaboradores en algunas de las investigaciones que conforman esta tesis, los cuales me han ayudado a mejorar el planteamiento y resultado final de los trabajos en los que han participado. Thank you, **Volker Sorge**, for reviewing the list of heuristic indicators and provide me with valuable tips to improve it. Al grupo de investigación de **Sergio Escalera** de la Universidad de Barcelona. A **Maria Giménez**, por su ayuda en la revisión del inglés de varios de los trabajos publicados. A **Lluc** por los consejos gráficos en la elaboración de esta memoria. A **Andreu Balius**, por atender mis consultas sobre legibilidad de las fuentes tipográficas y aconsejarme algunas referencias bibliográficas de interés para esta investigación. Gracias a todos y todas los revisores y editores por los que han pasado los trabajos que componen esta tesis. Todos ellos y ellas, de una u otra manera, han apartado algo a cada uno de los manuscritos que la componen. Gracias **Cristòfol Rovira** y **Mari-Carmen Marcos** por darme la oportunidad de iniciarme en la docencia universitaria y depositar siempre tanta confianza en mi trabajo. Y gracias también a todos los docentes y compañeros del **departamento de Biblioteconomía, Documentación y Comunicación Audiovisual de la Universidad de Barcelona**, con los que me he cruzado a lo largo de todos estos años como estudiante y profesor, los cuales, poco a poco habéis ido introduciendo en mis las ganas de dedicarme a la docencia y la investigación, una profesión que me llena y satisface cada día más.

Gracias a todas y todos. Rubén

Dedicatoria

Un doctorado es algo que incide sobremanera en la vida de las personas que lo cursan, alejándote de aquellos que más quieres y no permitiéndote pasar con ellos todo el tiempo que se merecen y deberías dedicarles. Entre las siguientes, se encuentran algunas de las personas más importantes en mi vida, y otras sin las cuales, de una manera u otra, tampoco hubiera llegado a finalizar esta investigación. A ellas y ellos, va dedicada esta tesis. Gracias **Mireia**, por hacerme ver la importancia de descansar en determinados momentos para rendir mejor, por todo lo que me has enseñado, especialmente hacerme ver las cosas que realmente importan en la vida, darle sentido a todo, y por todas las horas que te debo, dedicadas últimamente a esta tesis. A mis padres, **Pepi** y **Diego**, de los que he heredado su capacidad de trabajo. La cualidad que mejor me representa y de la que más orgulloso estoy. A mis hermanos **Nuria** y **Sergio**, os quiero. A **Dani**, por estos 35 años de amistad. A **Lluc** por todos los buenos –y no tan buenos– momentos que hemos compartido en estos últimos siete años. Sin saberlo, me has enseñado –que no sólo ayudado– mucho más de lo que yo nunca podré enseñarte. A **Cristián**, por todos los buenos momentos compartidos y los que faltan por llegar. A **Montse** y **Esther**, por vuestra amistad y por acordaros siempre de mí, aún en la distancia. A **Vivian**, *vers l'infini et au-delà!* A **Anna**, ¡este es nuestro año!

Sumario

1. Introducción y alcance de la investigación	3
1.1 Accesibilidad y discapacidad	3
1.1.1. Accesibilidad: aproximaciones al concepto, disciplinas afines	3
1.1.2. Métodos de evaluación de la accesibilidad	10
1.1.3. Discapacidad	16
1.2 Baja visión	19
1.2.1. Causas y caracterización de los usuarios con baja visión	23
1.2.2. Barreras y soluciones habituales	46
1.2.3. Estrategias, preferencias y ayudas técnicas	82
1.3 Visualización de la información	87
1.3.1. La percepción y comprensión gráfica	88
1.3.2. Visualización de datos	88
1.3.3. Gráficos estadísticos: caracterización y componentes	89
1.4 Justificación	92
1.4.1. Prevalencia de la baja visión	92
1.4.2. Aspectos legales	96
1.4.3. La importancia de los gráficos estadísticos en la sociedad y su papel en la accesibilidad	97
1.5 Alcance y objetivos de investigación	100
1.5.1. Aspectos fuera de alcance en este estudio	101
2. Trabajos relacionados	103
2.1 Literatura científica	103
2.2. Normas y directrices	105
3. Metodología	110
4. Publicaciones	115
5. Discusión global de los resultados	277
6. Conclusiones	283
7. Trabajo futuro	286

8. Bibliografía	288
Anexo 1. Guía para la evaluación heurística de la accesibilidad para personas con baja visión de los gráficos estadísticos	333
Lista de figuras	352
Lista de tablas	355

1. Introducción y alcance de la investigación

Este primer apartado establece el marco conceptual y la terminología básica de la tesis. En primer lugar, se presentan los conceptos de accesibilidad digital y discapacidad para, posteriormente, centrarnos en el caso específico del perfil objeto de estudio: las personas con baja visión. Respecto a los usuarios con baja visión, se ofrece una caracterización del perfil, atendiendo a las causas y consecuencias derivadas de las diferentes patologías características en este colectivo. A continuación, se exponen las principales barreras asociadas a las limitaciones derivadas de las patologías anteriormente descritas, así como las principales soluciones recogidas en la literatura hasta el momento. También se recogen, a continuación, las principales estrategias, preferencias y ayudas técnicas utilizadas por este colectivo para acceder al contenido digital. Finalmente, se ofrece una breve caracterización de los gráficos estadísticos en la cual se pone énfasis en el análisis de aquellos elementos que pueden presentar ciertas barreras para las personas con baja visión.

1.1 Accesibilidad y discapacidad

1.1.1. Accesibilidad: aproximaciones al concepto, disciplinas afines

La expansión de la World Wide Web (en adelante, Web) a partir de la década de los años noventa, abre las puertas a un nuevo entorno digital a través del cual las personas pudimos empezar a acceder de manera telemática a una gran variedad de servicios relacionados con la información, la comunicación o el entretenimiento. Esto implica, poco a poco, la necesidad de garantizar que cualquier persona con independencia de su diversidad funcional pueda acceder a él en las mismas condiciones. De esta manera equiparamos el derecho al acceso a un sitio web al acceso, por ejemplo, a un edificio. Una necesidad que se torna imperante cuando, con el paso de los años, la Web se erige en un servicio fundamental en nuestras vidas, a través del cual accedemos de manera preferente a numerosos trámites administrativos, servicios financieros, entornos de aprendizaje de institutos y universidades, o medios de comunicación, entre otros muchos servicios esenciales.

Una necesidad todavía mayor si tenemos en cuenta que las personas con discapacidad en muchas ocasiones presentan ciertas limitaciones para desplazarse, prefiriendo realizar todo tipo de trámites o procesos de manera telemática. En este sentido, según la encuesta a personas con discapacidad realizada por la Fundación Vodafone España (2013), el 71,6% de la población española con discapacidad visual y el 84,4% de las personas con discapacidades motrices, admite dificultades para desplazarse fuera del hogar, lo que convierte a la Web en el punto de acceso preferente para ellas y ellos a la hora de consultar los medios de comunicación, formarse o realizar trámites administrativos, entre otros.

Las técnicas relacionadas con la accesibilidad web se empiezan a conocer tras la segunda World Wide Web Conference (Chicago, 1994), cuando Vanderheiden (1995) publica las primeras directrices relacionadas con la accesibilidad del contenido web, las *Design of HTML (Mosaic) pages to increase their accessibility to users with disabilities strategies for today and tomorrow*. No obstante, veinticinco años después, el porcentaje de sitios web accesibles continúa siendo realmente reducido (Elcessor, 2001). Sin ir más lejos, según datos de la Comisión Europea (European Commission, 2019), menos de un 10% de los sitios web europeos son accesibles, provocando que hasta un 5% de la población europea no utilice Internet debido a la imposibilidad de acceso a estos sitios que su inaccesibilidad impone.

La norma ISO/TS 16071 (2003), revisada cinco años más tarde por la ISO 9241-171:2008, cuyo propósito es el de guiar a los desarrolladores en el diseño de interfaces que alcancen el nivel de accesibilidad más alto posible, define la accesibilidad como “la usabilidad de un producto, servicio, entorno o herramienta para personas con el más amplio abanico de capacidades”. Una definición en la que el concepto de accesibilidad orientado a la usabilidad persigue lograr niveles de eficacia, eficiencia y satisfacción tan altos como sea posible, prestando especial atención a la diversidad inherente entre las múltiples capacidades de las personas con o sin discapacidad. En esta definición, los conceptos de accesibilidad y usabilidad, definido este último en la norma ISO 9241-11 (1998, 2018) como “la medida en la que un producto se puede usar por determinados usuarios para conseguir objetivos específicos con efectividad, eficiencia y satisfacción en un contexto de uso especificado”, se relacionan hasta el punto de que diversos autores se han venido refiriendo a la accesibilidad como la “usabilidad para personas con discapacidad” o “accesibilidad usable” (Henry; Abou-Zahra; White, 2016).

Esta estrecha relación entre accesibilidad y usabilidad es vista desde diferentes puntos de vista en la literatura científica. La relación entre ambas disciplinas se ha tratado ampliamente y ha sido y es objeto de controversia. Shneiderman (2000; 2002) propone englobar ambos problemas bajo el concepto “usabilidad universal”, ampliando el alcance de la usabilidad para abordar también los problemas específicos de las personas con discapacidad. Para algunos autores, los problemas de accesibilidad y usabilidad son dos conjuntos de problemas distintos que experimentan las personas con y sin discapacidad, respectivamente (Petrie; Kheir, 2007). Para otros, en cambio, los problemas de

accesibilidad son tipos particulares de problemas de usabilidad, afectando los últimos a todos los usuarios por igual, mientras que los primeros sólo dificultan el acceso a un conjunto específico de usuarios (Thatcher *et al.*, 2003). Por su parte, Nielsen (2005) afirma que la accesibilidad técnica es una condición previa para la usabilidad ya que, si un usuario no puede acceder al contenido, tampoco podrá usarlo. De acuerdo con esta afirmación, la accesibilidad es necesaria, pero no suficiente para garantizar una buena usabilidad. Finalmente, otros abogan por el carácter complementario de accesibilidad y usabilidad, reconociendo ciertos solapamientos entre ambas, hasta el punto de no existir una distinción clara entre ellas (Henry; Abou-Zahra; White, 2016). Una falta de distinción que puede derivar en implementaciones redundantes o incompletas cuando desde la ingeniería de requisitos se intentan implementar ambas (Casare *et al.*, 2016).

En el ámbito español, la *Ley 51/2003, de 2 de diciembre, de igualdad de oportunidades, no discriminación y accesibilidad universal de las personas con discapacidad* recoge el concepto de **accesibilidad universal** y lo define como “la condición que deben cumplir los entornos, procesos, bienes, productos y servicios, así como los objetos o instrumentos, herramientas y dispositivos, para ser comprensibles, utilizables y practicables por todas las personas en condiciones de seguridad y comodidad y de la forma más autónoma y natural posible. Presupone la estrategia de ‘diseño para todos’ y se entiende sin perjuicio de los ajustes razonables que deban adoptarse”. Como en el caso de la definición recogida por la norma ISO 9241-171, la ley 51/2003, también introduce un concepto relacionado adicional, en este caso el de diseño para todos. El concepto de **diseño universal** es introducido por Mace (1991) como el diseño de productos y entornos que satisfagan las necesidades de las personas con independencia de su edad, habilidades o estatus social y es equivalente al de diseño para todos introducido en la literatura años más tarde (Stephanidis, 2001). Connell *et al.* (1997) aportan una definición complementaria de diseño universal: “el diseño de productos y entornos usables para todas las personas en la mayor medida posible sin necesidad de adaptaciones o diseños específicos”. Una definición basada en siete principios:¹

1. **Uso equiparable** o equivalente para todas las personas evitando segregar o estigmatizar al usuario.
2. **Uso flexible** capaz de acomodarse a las características, capacidades y preferencias de cada usuario.
3. **Simple e intuitivo**, es decir, fácil de comprender y que huya de complejidades innecesarias.
4. **Información perceptible** para el usuario transmitida de manera eficaz y atendiendo a condiciones ambientales y a las capacidades sensoriales específicas de cada persona.

¹ A partir de la traducción al español de Emmanuelle Gutiérrez disponible en:
<http://www.sidar.org/recur/desdi/usable/dudt.php>.

5. **Con tolerancia al error**, minimizando así los riesgos y consecuencias de los errores producidos como consecuencia del uso.
6. **Que exija poco esfuerzo físico**, minimizando la fatiga derivada de su uso.
7. **Tamaño y espacio para el acceso y uso**, garantizando de esta manera la confortabilidad y acomodándose a las características físicas de cada usuario.

Esta definición introduce el concepto de **adaptación**, del cual pretende huir. Las adaptaciones persiguen modificar la forma en la que normalmente interactúa un usuario con un servicio o producto, con el objetivo de garantizar la usabilidad o accesibilidad. Este es el caso, por ejemplo, de los lectores de pantalla a través de los cuales acceden las personas ciegas al contenido de una página web. En este caso específico, hablamos de una adaptación de software a través de una ayuda técnica. Lo cierto es que las características específicas de ciertos usuarios imponen determinadas limitaciones difíciles de salvar sin la incorporación de adaptaciones específicas. No obstante, cuando el diseño y desarrollo de un producto o servicio se aborda desde el punto de vista del diseño universal, estas adaptaciones acostumbran a ser mucho más fáciles y baratas de integrar. Lo mismo aplica cuando la accesibilidad se tiene en cuenta desde las primeras fases de cualquier proyecto.

Para otros autores, en cambio, lograr satisfacer eficazmente los problemas de accesibilidad concretos de un colectivo, implica necesariamente centrarse específicamente en ellos, abordando sólo los problemas que son relevantes para ese colectivo (Foti; Santucci, 2009). En esta línea, Henry, Abou-Zahra y Brewer (2014) abogan por no ampliar la definición de accesibilidad más allá de las discapacidades, debido al riesgo de perder el enfoque en las necesidades específicas de estas personas. Una actitud que también fomenta, según las autoras, una mayor investigación y desarrollo sobre necesidades y soluciones orientadas a colectivos específicos.

Para el World Wide Web Consortium (W3C), el concepto de accesibilidad web implica que los sitios web, así como las herramientas y tecnologías que los sustentan sean diseñados y desarrollados de manera que las personas con discapacidades puedan utilizarlos. En concreto, se refiere a cinco procesos estrechamente relacionados con sus *Directrices para la accesibilidad del contenido web* (WCAG), que debería poder llevar a cabo cualquier persona al acceder al contenido de un sitio web: percibir, comprender, navegar, interactuar y contribuir. Una definición que al basarse en gran medida en el cumplimiento de una normativa es denominada en ocasiones como “**accesibilidad técnica**” (Petrie; Kheir, 2007) o “**accesibilidad normativa**”. El modelo de accesibilidad del W3C gira en torno al concepto de accesibilidad universal (Kelly *et al.*, 2007) y asume que la conformidad con las WCAG es una condición indispensable para alcanzarla.

No obstante, si bien las WCAG son un buen punto de partida para abordar el diseño y desarrollo técnico de un contenido web accesible, alcanzar la conformidad con estas directrices no siempre es suficiente. En este mismo sentido, son diversos los trabajos que han recogido evidencias empíricas mostrando como sitios web conformes a las

directrices del W3C presentaban diversos problemas de accesibilidad (Petrie; Kheir, 2007), cubriendo sólo una parte de los problemas que los usuarios con discapacidad encuentran en la Web (Power *et al.*, 2012; Aizpurua *et al.*, 2013). Esto implica que la conformidad con respecto a estas directrices no necesariamente es suficiente para asegurar un nivel de accesibilidad adecuado en todas las situaciones.

Otras críticas habituales a las WCAG tienen que ver con una escasa cantidad de criterios de conformidad dirigidos a satisfacer las necesidades de ciertos perfiles de usuario, como el de las personas mayores o el de las personas con discapacidades cognitivas; su falta de concisión y claridad; su excesiva extensión; el uso de un lenguaje demasiado técnico y abstracto; su compleja organización y estructura (Farrelly, 2011); o su enfoque estrictamente evaluativo (Termens *et al.*, 2009), lo cual no facilita su integración en los procesos de desarrollo de un contenido web.

A pesar de las limitaciones expuestas anteriormente con respecto a las WCAG, lo cierto es que las directrices del W3C son el documento de referencia a nivel internacional en el ámbito de la accesibilidad web, y han supuesto –y suponen– un marco de trabajo de indudable valor, lo que las convierte también en un texto de referencia para este trabajo.

La adopción e influencia internacional de las WCAG es tal que, a nivel europeo, el compromiso de la administración respecto a la accesibilidad web se ha materializado en su adopción como el requisito legal mínimo que deben alcanzar los sitios web de las administraciones públicas, así como el de determinadas empresas privadas para cumplir sus obligaciones en materia de accesibilidad. La adopción de las directrices del W3C se materializa a través de la norma europea EN 301549 v1.1.2:2015 (ETSI, 2015), actualizada tres años más tarde mediante la norma EN 301549 v2.1.2:2018 (ETSI, 2018), para adaptarse a la versión 2.1 de las WCAG. A partir de este marco de referencia supranacional son varios los estados miembros que la han integrado en su legislación, a partir de transposiciones de la norma europea. Uno de ellos es España (2018), cuyo resultado se materializa a través de la norma UNE-EN 301549:2019 (AENOR, 2019).

La primera versión de las **WCAG** aparece en 1999, para actualizarse posteriormente en 2008 (versión 2.0) y 2018 (versión 2.1). Las WCAG se fundamentan en cuatro principios básicos que establecen la base de la accesibilidad web. Para que la información, componentes y operaciones de un sitio web sean accesibles, deben ser perceptibles, operables, comprensibles y robustos. Estos cuatro principios generales se desarrollan en forma de pautas, las cuales agrupan de manera lógica los setenta y ocho criterios de conformidad evaluables que debe cumplir cualquier sitio web que pretenda ser conforme a la norma. A su vez, estos criterios de conformidad se dividen en tres niveles diferentes de conformidad: A (el nivel más bajo), AA (nivel medio) y AAA (el nivel más alto).

La accesibilidad de un contenido depende también en gran medida de las **herramientas de autor** utilizadas para generarlo. Una herramienta de autor es una aplicación web o de escritorio, utilizada por los autores para crear o modificar contenido que posteriormente será utilizado por terceras personas (otros autores o usuarios finales) (W3C, 2015b).

Las herramientas de autor incluyen todo aquel software que se utiliza para generar el contenido que se distribuirá a los usuarios. En el caso de un sitio web, esto incluye sistemas de gestión de contenidos (CMS) o editores de código HTML, pero también software ofimático como procesadores de texto, de procesamiento de hojas de cálculo o de transformación a formatos como PDF; software de edición y diseño como aplicaciones de composición de textos, de edición de imágenes o de vídeo, entre otras; así como todo un conjunto de *frameworks* y bibliotecas de software a disposición de los diseñadores y desarrolladores web, que se integran en los productos digitales que se distribuyen a través de este canal.

En relación con este tipo de herramientas, el W3C propuso en el año 2000, las *Pautas de accesibilidad para las herramientas de autor (ATAG)*, cuya versión actual (2.0) data del 2015. Las **ATAG** son una recomendación que presenta un doble objetivo. Por un lado, conseguir que las interfaces de usuario de las herramientas de autor sean accesibles (parte A) y, por el otro, asegurar que el contenido que se genera con éstas también lo sea (parte B). La realidad, sin embargo, es que las herramientas de autor, a pesar de incorporar en numerosas ocasiones algunas de ellas funcionalidades que permitirían la generación de contenido accesible, no siempre facilitan al usuario este extremo, lo que implica un importante problema teniendo en cuenta que deberían facilitar precisamente lo contrario. Es decir, dar soporte en la generación de contenido accesible, incluso en aquellos casos en los cuales el autor/a no esté familiarizado con las WCAG (Trevinarus, 2008). Algunos ejemplos habituales de no cumplimiento los encontramos en el hecho de no generar de manera predeterminada contenido accesible, o por no asistir a los autores en el proceso de creación del contenido, asegurando que se incorporan durante éste los requisitos para alcanzar su accesibilidad.

Por otro lado, existe un importante desconocimiento entre los creadores sobre los requisitos que debe cumplir el contenido que generan para ser accesible. En otros casos, ni siquiera son conscientes de la necesidad de generar contenido usable para cualquier persona con independencia de su diversidad funcional, hecho que se suma a otros factores como la falta de tiempo, de apoyo por parte de altos cargos de su organización, o de interés o comprensión por parte del cliente (Lazar; Dudley; Greenidge, 2004).

Otro componente técnico fundamental involucrado en la accesibilidad digital son los agentes de usuario. Los **agentes de usuario** son herramientas de software utilizadas por los usuarios finales para interactuar con el contenido generado por los autores. Esto incluye navegadores web, reproductores de audio o vídeo, así como a las propias ayudas técnicas (Chisholm; Lawton, 2005). En relación con el papel de los agentes de usuario en la accesibilidad, el W3C publicó en 2002 las *Directrices para la accesibilidad de los agentes de usuario (UAAG)*, revisadas en 2015 (versión 2.0) (W3C, 2015c). El objetivo de las **UAAG** es el de guiar a los desarrolladores en el diseño de agentes de usuario que hagan más accesible la Web a las personas con discapacidad. Como las WCAG, las UAAG se organizan en torno a principios, directrices y criterios de conformidad que presentan diferentes niveles de exigencia (A, mínimo; AA, medio; y AAA avanzado).

Finalmente, otros actores como **gobiernos, organizaciones de estandarización, fabricantes de software, docentes**, así como la **población en general**, también juegan un papel fundamental en la consecución de un mayor nivel de accesibilidad generalizado entre el contenido web (Seale, 2006a) (Seale, 2006b) (Kelly *et al.*, 2009) (Lopes; Van Isacker; Carriço, 2011), en la medida en que su conocimiento, actitud, valor e importancia otorgado y sensibilidad al respecto, influyen sobremanera en el reto de conseguir un mundo digital más accesible.

Lo comentado anteriormente, demuestra que no existe un consenso absoluto en cuanto a una definición única de accesibilidad. Mientras algunas definiciones como la de la norma ISO 9241-171 ponen el foco en ciertas características propias de la usabilidad, otras se centran en los usuarios, el cumplimiento de ciertas características técnicas, o en asegurar un acceso en igualdad de condiciones (Yesilada *et al.*, 2012). Si bien resulta difícil definir el alcance de la relación entre accesibilidad y usabilidad, lo que es evidente es que ambas cualidades interactúan entre sí (Aizpurua *et al.*, 2013) y deben integrarse con el objetivo de crear productos o servicios totalmente accesibles (Leporini; Patern, 2008). También que, en ambos casos, se trata de criterios de calidad aplicables y deseables en cualquier producto o servicio digital.

Por su parte, Brajnik (2008) introduce el concepto de “**modelo de accesibilidad**”, el cual se centra en especificar qué es la accesibilidad, cómo puede alcanzarse y gestionarse, así como qué condiciones del entorno influyen sobre ella. Una aproximación que ayuda a arrojar luz sobre el concepto de accesibilidad al enmarcarlo en unas propiedades: efectividad, seguridad y protección con la que unos usuarios con discapacidades específicas desean alcanzar unos objetivos concretos y que deben alcanzarse en igualdad de condiciones que en el caso de los usuarios sin discapacidad; en un contexto: que debe analizarse por la influencia de diferentes factores en la accesibilidad (tipo de discapacidad, nivel de experiencia, ayudas técnicas utilizadas, los objetivos del usuario, el entorno en el que se encuentra, los periféricos que está utilizando...); y unos métodos: técnicas y metodologías utilizadas para evaluar y gestionar la accesibilidad de la manera más precisa y fiable posible.

Como la usabilidad, la accesibilidad es parte de la disciplina de la interacción persona-ordenador (IPO). La **interacción persona-ordenador**, denominada en el ámbito anglosajón y, por extensión también en el internacional, como Human-Computer Interaction (HCI) o Computer-Human Interaction (CHI), es definida por Hewett y Baecker (1992) como la “disciplina relativa al diseño, evaluación e implementación de sistemas informáticos interactivos para uso por parte de personas, así como del estudio de los principales fenómenos relacionados con ellos”.

La esencia de esta disciplina es, por tanto, comprender cómo se lleva a cabo la interacción entre personas y ordenadores –el puente entre ambos, en palabras de Terry Winograd (Preece *et al.*, 1994)–, prestando atención a toda una serie de factores interrelacionados que atienden a la naturaleza de esta interacción, las características humanas, el contexto de uso de los ordenadores, su arquitectura e interfaces de usuario,

así como el proceso de desarrollo mismo de estas interfaces (Hewett y Baecker, 1992). El objetivo de la IPO es mejorar la productividad de las personas cuando interactúan con ordenadores, logrando al mismo tiempo, garantizar una experiencia de uso segura, confortable y satisfactoria (Helander, 1991), pudiendo llegar a alcanzar algún día el paradigma del ordenador invisible (Norman, 1998).

Si bien los ordenadores distan mucho todavía de ser invisibles o transparentes en su interacción con los usuarios, lo que sí es cierto es que la tecnología se ha vuelto omnipresente, protagonizando una gran cantidad de las tareas cotidianas que llevamos a cabo como personas, no sólo en el ámbito profesional, sino también fuera de él. Una tecnología que abre la puerta a todo tipo de nuevas oportunidades, empoderando a los usuarios gracias al trabajo de los diferentes profesionales involucrados en la IPO (informáticos, diseñadores, psicólogos...), centrados en adaptar la tecnología a las personas, y no al contrario.

En relación con las características humanas, los profesionales dedicados a la IPO se centran en comprender el procesamiento de la información por parte de las personas, sus mecanismos de lenguaje, comunicación e interacción, así como sus características físicas o ergonómicas. Justo enfrente, encontramos al otro actor involucrado, el ordenador, con sus propias características, interfaces o periféricos de entrada y salida que actúan como mediadores de la comunicación entre persona y ordenador. También, por supuesto, todo un conjunto de técnicas o reglas de diálogo que, a partir de componentes de diseño específicos –por ejemplo, las metáforas– aprovechan la capacidad de computación gráfica del hardware y el software para dar soporte a la interacción entre ambos (Hewett y Baecker, 1992).

Son, por tanto, tres los actores fundamentales que tener en cuenta en la IPO: personas, tecnología y procesos y técnicas de diseño. El estudio de las personas se centra en sus capacidades y limitaciones, en entender cómo llevan a cabo diferentes procesos y cómo se comunican e interactúan, pero también, desde una dimensión social centrada en su contexto sociocultural, y en el marco de la sociedad y las organizaciones que forman parte de ella (Hewett y Baecker, 1992).

1.1.2. Métodos de evaluación de la accesibilidad

La IPO y la accesibilidad digital comparten metodologías, como las propias del **diseño centrado en el usuario** (DCU), en la que éstos se ubican en el centro de toda decisión de diseño. En este sentido, el DCU no consiste simplemente en diseñar pensando en el usuario y sus necesidades o preferencias, sino que consiste en implicar al usuario en el proceso mismo de diseño. El DCU se vale de todo un conjunto de técnicas con el objetivo de comprender las necesidades, el comportamiento y las características de los usuarios que se van presentado en diferentes fases a lo largo de todo el proceso de diseño, sirviendo tanto para determinar las soluciones idóneas para un producto o servicio en

proceso de diseño, como para la evaluación de uno existente en vistas a solucionar problemas de usabilidad o accesibilidad detectados.

Entre los métodos de evaluación más comunes relacionados con el DCU encontramos tres grandes grupos (Granollers, 2004): los **métodos por inspección**, los **métodos por indagación** y los **métodos de test**. En los primeros intervienen expertos que analizan el grado de usabilidad o accesibilidad de una interfaz, basándose en su inspección. Entre estos métodos destacan la evaluación heurística o los recorridos cognitivos. Por su parte, los métodos por indagación se centran en aprender y descubrir aspectos relevantes de la interfaz aprendiendo directamente de los usuarios que son entrevistados u observados mientras la utilizan, o se les pregunta sobre ella. Son, por lo tanto, métodos ligados habitualmente a las primeras etapas de desarrollo del producto o servicio en las cuales es necesario conocer las preferencias de los usuarios, su manera de interactuar con el contenido, así como generar ideas de diseño orientadas a satisfacer sus necesidades. Finalmente, en los métodos de test se analizan los resultados de la interacción de usuarios representativos con el producto o servicio en el contexto de tareas específicas, con el objetivo de evaluar su capacidad para llevarlas a cabo y descubrir posibles barreras o aspectos que dificulten su consecución.

Brajnik (2008) clasifica los métodos de evaluación de acuerdo con su naturaleza, y distingue entre métodos analíticos y empíricos. Los **métodos analíticos** se basan en la inspección de la interfaz por parte de evaluadores expertos, fuera de un contexto de trabajo real con el contenido y funcionalidades del sitio. Por su parte, los **métodos empíricos** requieren una interacción entre el usuario y el contenido o producto evaluado. Los resultados de los diferentes métodos de evaluación pueden ser cuantitativos o cualitativos.

- Métodos analíticos → método por inspección.
- Métodos empíricos → método por indagación y métodos de test.

Las **revisiones de conformidad** –también denominadas revisiones de directrices o estándares, o inspecciones manuales según la fuente– son métodos analíticos que se centran en verificar si un contenido satisface unos determinados criterios técnicos (Brajnik, 2008) publicados por organizaciones internacionales, nacionales o industriales de estandarización (Henry, 2007). Se basan en la opinión de uno o más evaluadores expertos que, a partir de una muestra representativa, revisan uno a uno los diferentes criterios de conformidad. Este tipo de métodos dependen tanto de la exhaustividad y calidad de la lista de verificación utilizada, como del grado de expertitud de los evaluadores. Por otro lado, son relativamente baratos y rápidos, y se pueden combinar con algunas herramientas automáticas de comprobación.² Estas herramientas, muy

² Las herramientas automáticas de comprobación revisan la conformidad de un sitio o página web de acuerdo con alguna directriz (p.e., WCAG 2.1) o aspecto específico. El W3C mantiene una lista de herramientas en: <https://www.w3.org/WAI/ER/tools/index.html>.

populares entre los desarrolladores y profesionales de la accesibilidad a pesar de sus limitaciones en forma tanto de falsos positivos, como de negativos (Brajnik, 2004), ofrecen una manera rápida y sistemática de analizar grandes conjuntos de páginas web contribuyendo a una mayor eficiencia y productividad (Brajnik, 2008). El W3C (2014) cuenta con las **WCAG-EM** (Website Accessibility Conformance Evaluation Methodology), una metodología propia para la revisión de la conformidad de un sitio web a partir de las WCAG, así como con una herramienta de soporte para llevar a cabo este tipo de revisiones, denominada WCAG-EM report tool.³

Las **técnicas de filtrado** son métodos de naturaleza empírica de tipo informal y normalmente de bajo coste que ayudan a identificar barreras de accesibilidad potenciales durante el diseño de una interfaz (Henry, 2007). Consisten en la reducción artificial de alguna capacidad sensorial, motora o cognitiva de los evaluadores que deben realizar unas tareas determinadas en este contexto. Por ejemplo, acceder a un contenido mediante un lector de pantallas con el monitor apagado o usando exclusivamente el teclado (Brajnik, 2008). Además de su bajo coste, son fácilmente integrables en las primeras fases de diseño. No obstante, dependen mucho del conocimiento de las ayudas técnicas por parte de los evaluadores, así como de su capacidad para ponerse en la situación de un usuario con la discapacidad que se está simulando.

En las denominadas **técnicas de evaluación subjetivas**, se involucra a un conjunto de usuarios a los cuales se les solicita que exploren y utilicen un determinado contenido o producto para, posteriormente, ser entrevistados directamente o a través de un formulario (Rubin, 2008). A continuación, el evaluador se encarga de extraer de las opiniones de los usuarios una lista de problemas de accesibilidad. Se trata de una metodología algo más cara porque implica la participación de usuarios, pero a diferencia de los test con usuarios puede realizarse de manera asíncrona (Brajnik, 2008).

Las **evaluaciones heurísticas** (EH) son un método de evaluación de la usabilidad de un producto o servicio por inspección, llevado a cabo por un conjunto de evaluadores expertos quienes, a partir de unos indicadores o principios heurísticos (González; Pascual; Lorés, 2001), inspeccionan la calidad de la interfaz de usuario. Los indicadores heurísticos permiten a los evaluadores comprender mejor qué aspectos de la interfaz pueden ser problemáticos y les proporcionan información sobre cómo resolver tales problemas como parte de un proceso de diseño iterativo (Nielsen; Mack, 1994). En comparación con directrices como las WCAG y su metodología WCAG-EM, los puntos fuertes de la EH son una mayor concisión, memorización, significación y comprensión de sus indicadores (Paddison; Englefield, 2004).

Si bien los usuarios son clave en el contexto de cualquier aproximación centrada en el usuario, las EH y otras metodologías como los test con usuarios son totalmente complementarios, y contribuyen en diferentes aspectos y etapas del proceso de evaluación. La utilidad de esta técnica se pone de manifiesto cuando las limitaciones de

³ <https://www.w3.org/WAI/eval/report-tool>.

la investigación impiden acceder a usuarios; se requiere una respuesta rápida; los evaluadores no pueden trabajar todos juntos al mismo tiempo y en el mismo lugar; o cuando la amplitud del enfoque es más importante que la sensibilidad de los resultados (Paddison y Englefield, 2002).

Esta técnica tiene su origen en el trabajo de Johnson *et al.* (1989), y ha sido ampliamente difundida y promovida a partir de la publicación del trabajo seminal de Molich y Nielsen (1990). Sobre la base del trabajo de estos autores, se han realizado propuestas metodológicas rigurosas centradas en el desarrollo de las denominadas “heurísticas de dominio” (Rusu *et al.*, 2011; Van-greunen *et al.*, 2011; Hermawati y Lawson, 2015; Jiménez *et al.*, 2017; Quiñones *et al.*, 2018). Esto es, nuevas listas de indicadores heurísticos para la evaluación tanto de aspectos generales relacionados con la usabilidad, la accesibilidad o la experiencia de usuario, como con aspectos específicos de las interfaces o relacionados con tipos concretos de sitios web o contenidos.

La metodología del **recorrido por barreras de accesibilidad** introducida por Brajnik (2006) es una técnica analítica que consiste en una adaptación del método de la EH, en la que los indicadores heurísticos se sustituyen por barreras de accesibilidad (Pascual, 2015). Para Brajnik (2011) una barrera de accesibilidad es una condición que dificulta a una persona con discapacidad el acceso a un elemento o la realización de una tarea. Las barreras de accesibilidad se describen en forma de fichas de acuerdo con la causa y el tipo de discapacidad con el que se relacionan, las ayudas técnicas implicadas, el tipo de error que producen y las estrategias conocidas para solventarlas. Para llevar a cabo este tipo de evaluaciones se precisa tener en cuenta el tipo de discapacidad, el escenario de uso y los objetivos del usuario. Como en el caso de las EH, durante la evaluación se recogen métricas como la gravedad, el impacto y la persistencia de las barreras.

Según los resultados obtenidos por el propio Brajnik (2006) los recorridos por barreras de accesibilidad son más eficaces que las revisiones de conformidad, ya que permiten encontrar un mayor número de problemas graves, al mismo tiempo que se reduce la cantidad de falsos positivos. No obstante, esta metodología se muestra menos eficiente en cuanto a la exhaustividad de los problemas detectados. La aportación de Brajnik relaciona barreras, discapacidad y directrices (las WCAG y la legislación italiana) y facilita la personalización de una evaluación de la accesibilidad para usuarios con una determinada discapacidad (Pascual, 2015).

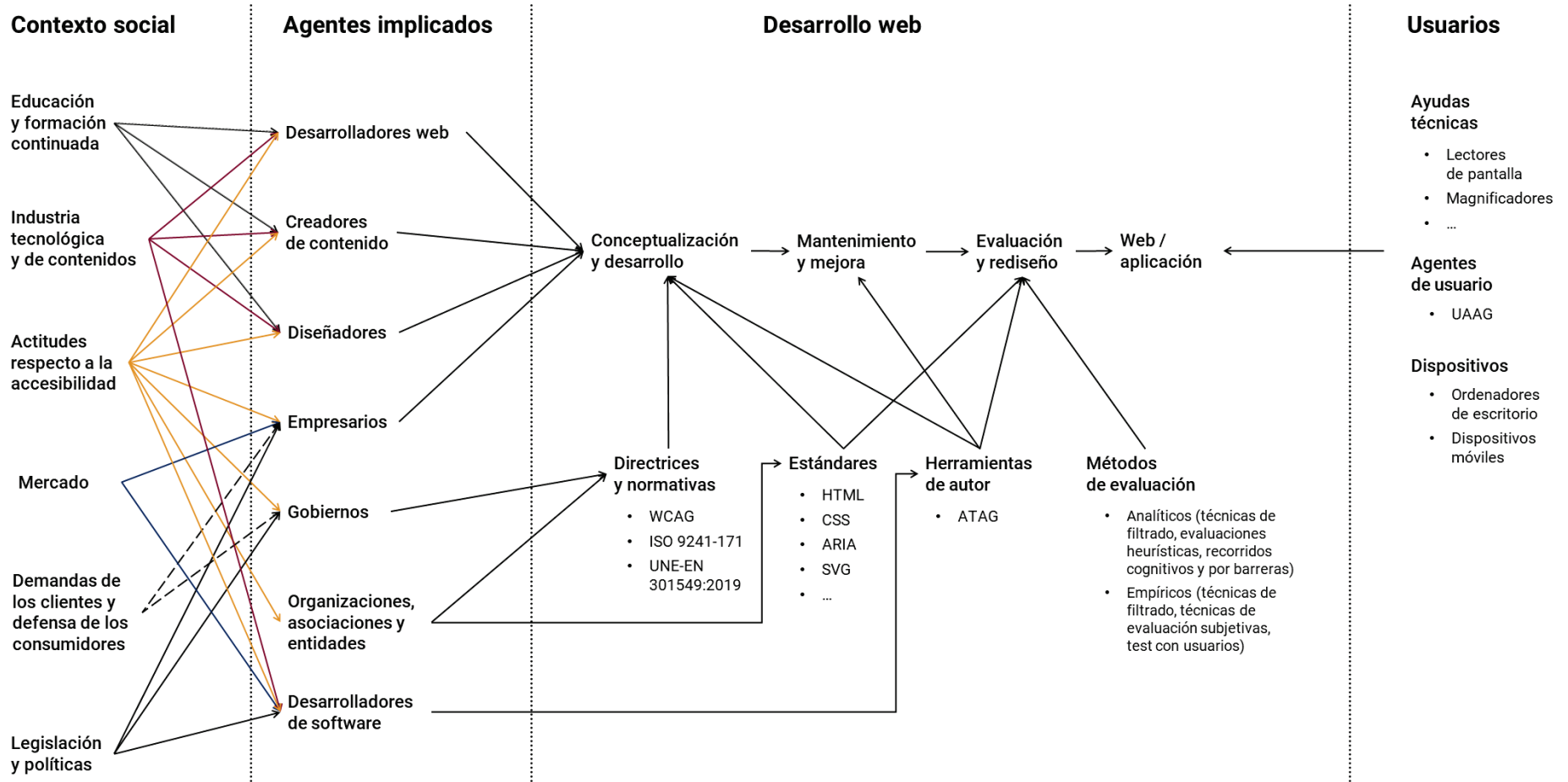
Finalmente, el **test con usuarios** es un método empírico en el que se recluta a usuarios representativos a los que se les proponen una serie de tareas mientras son observados por los evaluadores. Normalmente, este método se combina con el protocolo de verbalización en voz alta (*think-aloud*) con el objetivo de entender con mayor precisión lo que piensan los usuarios (dudas, problemas, razonamientos, estados de ánimo...), facilitando esto la posibilidad de encontrar un mayor número de problemas de accesibilidad. Los test con usuarios permiten recoger tanto datos cuantitativos, como cualitativos a partir del uso de una interfaz o producto por parte de usuarios reales (Henry, 2007). Su principal virtud frente a otras metodologías es su capacidad para

determinar con precisión los problemas más graves de accesibilidad que encuentran los usuarios, mientras que no se muestra tan eficiente cuando se trata de problemas menos graves (Brajnik, 2008). En comparación con los métodos por inspección o, incluso en comparación con las evaluaciones subjetivas, son mucho más costosos y complejos de organizar, ya que implican la necesidad de selección de una muestra representativa de usuarios, y contar con equipos e instalaciones específicos, entre otros requisitos.

Como hemos visto hasta ahora, el concepto de accesibilidad es una realidad compleja y multidimensional, en la cual se interrelacionan diferentes componentes humanos, técnicos y metodológicos que deben ir necesariamente de la mano y combinarse de manera adecuada cuando se pretende alcanzar el objetivo de crear un contenido accesible. La figura 1 muestra una síntesis del contexto de la accesibilidad a partir de lo abordado en este apartado y los trabajos de síntesis de Henry (2021), Lazar *et al.* (2004) y Farrelly (2011).

Gráficos estadísticos para personas con baja visión:
desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

Figura 1. Accesibilidad web, contexto e interrelaciones.



1.1.3. Discapacidad

La **diversidad** es una condición inherente al ser humano. El color de nuestra piel, la edad, el género o diversos aspectos culturales nos diferencian del resto de personas, al mismo tiempo que nos asemejan a otras, dando lugar al concepto de colectivo. Cuando la diversidad se manifiesta en forma de un funcionamiento diferente de los órganos sensoriales, en el desarrollo de las capacidades cognitivas o intelectuales, o se pone de manifiesto en un funcionamiento diferente del aparato locomotor, nos referimos a un tipo concreto de diversidad: la diversidad funcional.

El concepto de diversidad también es aplicable a la tecnología. Esta concepción se ha puesto de manifiesto con la aparición y consolidación en el mercado de los dispositivos móviles, los cuales han propiciado una evolución del paradigma de producto al de servicio (Casado; Martínez, 2011). Es decir, hemos pasado del uso de productos de software o hardware específicos en un único entorno, al uso de una gran variedad de servicios mediados por la Web, los navegadores o las aplicaciones móviles como puerta de acceso, a los cuales se accede con independencia del dispositivo (ordenador de escritorio, tableta, móvil, videoconsola, reloj...). Una diversidad que se suma a las diferencias que ya existían en el acceso a la tecnología en relación con la gran variedad de diferentes tipos y tamaños de monitores, sistemas operativos, entre otros.

Cuando en el contexto de la interacción entre una persona y un ordenador se produce un déficit entre sus capacidades, y lo que el ordenador y los requisitos específicos del entorno exigen a esa persona para llevar a cabo una tarea o proceso, surge la discapacidad. La **discapacidad** es, por tanto, una situación derivada de la interacción entre persona y ordenador, que puede abordarse actuando sobre los requisitos impuestos sobre la persona para adaptarlos a las necesidades específicas de los diferentes colectivos de personas con discapacidad.

En esta misma línea, el *Real Decreto Legislativo 1/2013, de 29 de noviembre, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley General de derechos de las personas con discapacidad y de su inclusión social*, define la discapacidad como la "situación que resulta de la interacción entre las personas con deficiencias previsiblemente permanentes y cualquier tipo de barreras que limiten o impidan su participación plena y efectiva en la sociedad, en igualdad de condiciones con las demás". Una aproximación que se centra en el problema, y no en las personas que ven limitados sus derechos por culpa de un mal diseño.

Diferentes organizaciones e instituciones han publicado diversas clasificaciones sobre los tipos de discapacidades. A continuación, se recogen algunas de ellas.

Gráficos estadísticos para personas con baja visión:
desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

Centers for Disease Control and Prevention (2020)

- Visión
- Movimiento
- Razonamiento
- Memoria
- Aprendizaje
- Comunicación
- Audición
- Salud mental
- Relaciones sociales

INE (1996)

- Ver
- Oír
- Comunicarse
- Aprender, aplicar conocimientos y desarrollar tareas
- Desplazarse
- Utilizar brazos y manos
- Desplazarse fuera del hogar
- Cuidarse de sí mismo
- Realizar las tareas del hogar
- Relaciones con otras personas

W3C (Abou-Zahra, 2017)

- Audición
- Cognitivas, del aprendizaje y neurológicas
- Físicas
- Del habla
- Visuales
- Diversidad de habilidades (discapacidades relacionadas con la edad, discapacidades múltiples, condiciones de salud, habilidades cambiantes, discapacidades temporales, limitaciones situacionales)

WebAIM (2020)

- Visuales
- Audición
- Motoras
- Cognitivas
- Trastornos vestibulares y convulsivos

World Health Organization (2018)

- Funciones corporales
 - . Funciones mentales
 - . Funciones sensoriales y dolor
 - . Funciones de la voz y el habla
 - . Funciones de los sistemas cardiovascular, hematológico, inmunológico y respiratorio.
 - . Funciones de los sistemas digestivo, metabólico y endocrino.
 - . Funciones genitourinarias y reproductoras
 - . Funciones neuromusculoesqueléticas y relacionadas con el movimiento
 - . Funciones de la piel y estructuras relacionadas
- Estructuras corporales
 - . Estructuras del sistema nervioso
 - . El ojo, el oído y estructuras relacionadas
 - . Estructuras involucradas en la voz y el habla
 - . Estructuras de los sistemas cardiovascular, inmunológico y respiratorio
 - . Estructuras relacionadas con los sistemas digestivo, metabólico y endocrino
 - . Estructuras relacionadas con el sistema genitourinario y el sistema reproductor
 - . Estructuras relacionadas con el movimiento
 - . Piel y estructuras relacionadas
- Actividades y participación
 - . Aprendizaje y aplicación del conocimiento
 - . Tareas y demandas generales
 - . Comunicación

Gráficos estadísticos para personas con baja visión:
desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

- . Movilidad
- . Autocuidado
- . Vida doméstica
- . Interacciones y relaciones interpersonales
- . Áreas principales de la vida
- . Vida comunitaria, social y cívica
- Factores ambientales
 - . Productos y tecnología
 - . Entorno natural y cambios en el entorno derivados de la actividad humana
 - . Apoyo y relaciones
 - . Actitudes
 - . Servicios, sistemas y políticas

Esta tesis doctoral se centra en un tipo concreto de discapacidad visual, la baja visión, que se define en el siguiente apartado.

1.2 Baja visión

Las **discapacidades visuales** son un tipo de diversidad funcional de tipo sensorial que implican la pérdida total o parcial del sentido de la vista. El término ceguera se refiere al estado caracterizado por la ausencia operativa de visión, definido como una agudeza visual inferior a 3/60 (0,05), o como la correspondiente pérdida del campo visual en el mejor ojo y con la mejor corrección posible (Thylefors *et al.*, 1995). Por su parte, la **baja visión** es una condición visual que implica una reducción sustancial de este sentido que no puede ser corregida con lentes correctoras, tratamientos farmacológicos o cirugía.

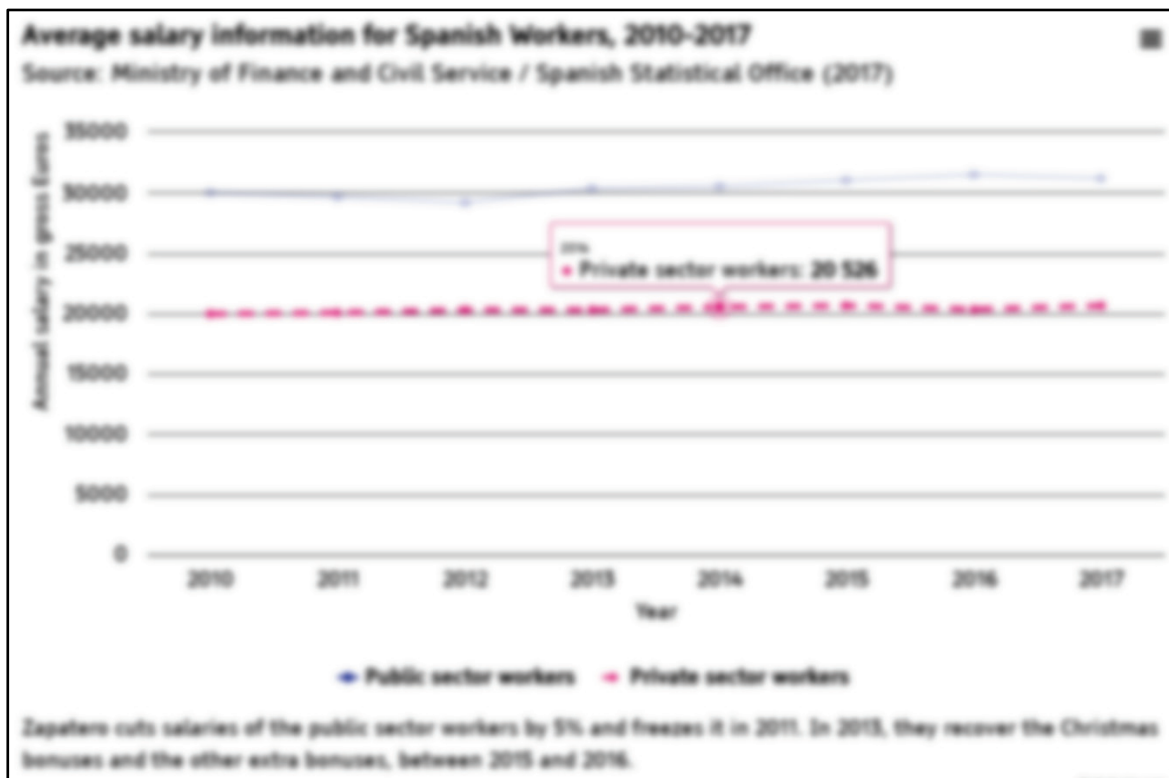
La baja visión impacta notablemente en las actividades diarias de las personas que la presentan (WebAIM, 2013a). De acuerdo con la ONCE (2020), el 80% de la información necesaria para nuestra vida cotidiana implica el órgano de la visión. Esto se debe a la predominancia de la información de carácter visual en la ejecución de la mayoría de las habilidades que poseemos, de los conocimientos que adquirimos y de las actividades que desarrollamos. En este sentido, la pérdida total o parcial de la percepción visual representa una reducción drástica en la autonomía y desarrollo personal, por su relevancia en tareas cotidianas y fundamentales en la vida de una persona como el aprendizaje, la movilidad, el acceso a la información, o su inclusión y participación misma en la sociedad.

Las personas con discapacidades visuales, entre las cuales las personas ciegas, pero también las personas con baja visión, no sólo se enfrentan a un desafío mayor que los usuarios videntes al acceder al contenido web, sino que también se encuentran en desventaja con respecto a otros grupos de usuarios con discapacidad por el marcado carácter visual de la Web (Petrie; Hamilton; King, 2004).

Para considerar que una persona tiene baja visión se utiliza como referencia su agudeza visual y campo de visión. La **agudeza visual** o nitidez de visión (figura 2) es la capacidad del sistema visual para diferenciar dos puntos próximos entre sí y separados por un ángulo determinado (García *et al.*, 2016). Existen diferentes formas de medir la agudeza visual. Una de las más habituales es utilizar una escala decimal en la que 1,0 corresponde a una persona que alcanza el 100% de agudeza visual, y un 0,1 a una que alcanza el 10%. Habitualmente, también se utilizan con este propósito las escalas de Wecker (1877) expresada en fracciones y en la que un valor como 1/10 –expresado habitualmente en decimales $1/10 = 0.1$ – indica que la persona es capaz de ver a un metro lo que una persona con agudeza visual normal puede ver a 10 metros; y la de Snellen (1862), en la que 20/20 corresponde a una persona que alcanza el 100% de la agudeza visual, 20/40 a un paciente que alcanza el 50%, o 20/200 a uno cuya agudeza visual no pasa del 10%. valor que, en países como España o Estados Unidos, entre otros, se establece para declarar a la persona como legalmente ciega.

Por su parte, el **campo de visión** o visión periférica hace referencia al área total en grados en la cual los objetos se pueden ver con visión lateral, mientras los ojos enfocan un punto central (National Library of Medicine, 2020a). Se considera un campo de visión normal el de 90 grados a ambos lados, lo que implica una amplitud de 180 grados en plano horizontal y 50 grados por encima y 60 por debajo de la nariz (Legge, 2016). En diversos países, entre los cuales España, se considera legalmente ciega a una persona cuando su campo visual combinado en ambos ojos es igual o inferior a los 10 grados.

Figura 2. Simulación de baja agudeza visual.⁴



En general, se considera que una persona presenta baja visión cuando con la mejor corrección óptica posible, su agudeza visual es inferior a 20/60 (Legge, 2016) o 20/70 (Scheiman; Scheiman; Whittaker, 2007), o su campo de visión es inferior a 20 grados. Esto implica que dentro de este perfil de usuario podemos encontrar tanto a personas con una agudeza visual que va desde el reconocimiento de la forma de una mano, hasta un 2/60 en el test Snellen, combinado o no con un campo visual de menos de 5 grados (B2 en la clasificación IBSA), como a personas con un resto de visión situado entre 2/60 y 6/60 en el mismo test, o un campo visual de entre 5 y 20 grados (B3 en la clasificación IBSA) (IBSA, 2011) (tabla 1).

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, más allá de múltiples perfiles de usuario con diferentes grados de agudeza visual y campo de visión, también de múltiples problemas relacionados con la sensibilidad al contraste, a la luz o al deslumbramiento, congénitos o causados por diferentes afecciones y enfermedades oculares como las cataratas, el glaucoma, la degeneración macular, o la retinopatía diabética, o con

⁴ Simulaciones realizadas con la extensión de navegador para Chrome NoCoffee vision simulator. Gráfico generado con la biblioteca de JavaScript Highcharts a partir de datos del Ministerio de Hacienda y el Instituto Nacional de Estadística.

dificultad o imposibilidad para diferenciar ciertas combinaciones de colores (conocida como visión cromática deficiente, en adelante VCD).

Si bien las personas con baja visión presentan limitaciones en su capacidad para realizar determinadas actividades cotidianas y precisan de diferentes adaptaciones técnicas para poder llevar a cabo algunas de ellas, a diferencia de las personas ciegas, gozan de un resto de visión que puede ser suficiente como canal primario para el aprendizaje y acceso a la información (Cebrián de Miguel, 2003). Este no es un aspecto menor, y debe ser explotado cuando se diseñan contenidos y soluciones para este colectivo.

Tabla 1. Clasificación de las discapacidades visuales según la Organización Mundial de la Salud (1980) y equivalencia en la clasificación IBSA.

Organización mundial de la salud			IBSA		
Categoría	Grado de discapacidad	Agudeza visual (decimal, Snellen 6m, Snellen 20 pies)	Categoría	Grado de discapacidad	Agudeza visual / campo de visión
Visión normal	Ninguno	0.8 o mejor (5/6, 6/7.5, 20/25 o mejor)	-	Ninguno	-
	Leve	< 0.8 (< 5/6,6/7.5 o 20/25)	-		-
Baja visión	Moderada	< 0.3 (< 5/15, 6/18 o 6/20, o 20/80 o 20/70)	B3	Parcialmente vidente	Desde 2/60 a 6/60 o un campo visual desde 5 a 20 grados.
	Severa o grave	< 0.12 (< 5/40, 6/48 o 20/160) (< 0.1, 5/50, 6/60 o 20/200)			
Ceguera	Profunda	< 0.05 (<5/100, 3/60 o 20/400)	B2	Parcialmente vidente	Capaz de reconocer la forma de una mano hasta una agudeza visual de 2/60 o un campo visual de menos de 5 grados.
	Casi total	< 0.02 (≤ 5/300, 1/60 o 3/200)			
	Total	Sin percepción de la luz.	B1	Totalmente o casi totalmente ciego	Desde no percepción de luz a percepción de luz, pero inhabilidad para reconocer la forma de una mano.

1.2.1. Causas y caracterización de los usuarios con baja visión

La baja visión abarca una variada gama de problemas los cuales pueden presentarse independientemente o en conjunto. A partir de los cuarenta años, la mayoría de las personas presenta una disminución en la capacidad para enfocar el texto, percibir colores o contrastes, entre otros (Allan; Kirkpatrick; Henry, 2019). En este sentido, si bien una de las principales causas de la baja visión es la edad, en muchas otras ocasiones también es el resultado de diferentes afecciones, enfermedades del ojo o condiciones médicas, las cuales son el origen de distintos tipos de efectos que dificultan parcialmente la visión (Quillen, 1999). En el caso de las personas mayores con baja visión, debemos sumar el hecho de que la edad trae consigo discapacidades adicionales de tipo físico, auditivo o cognitivo (Czaja, 1997) (Fisk *et al.*, 2004) (Arch, 2008). A continuación, se resumen las principales afecciones relacionadas con la baja visión y sus consecuencias sobre la vista de las personas.

Degeneración macular

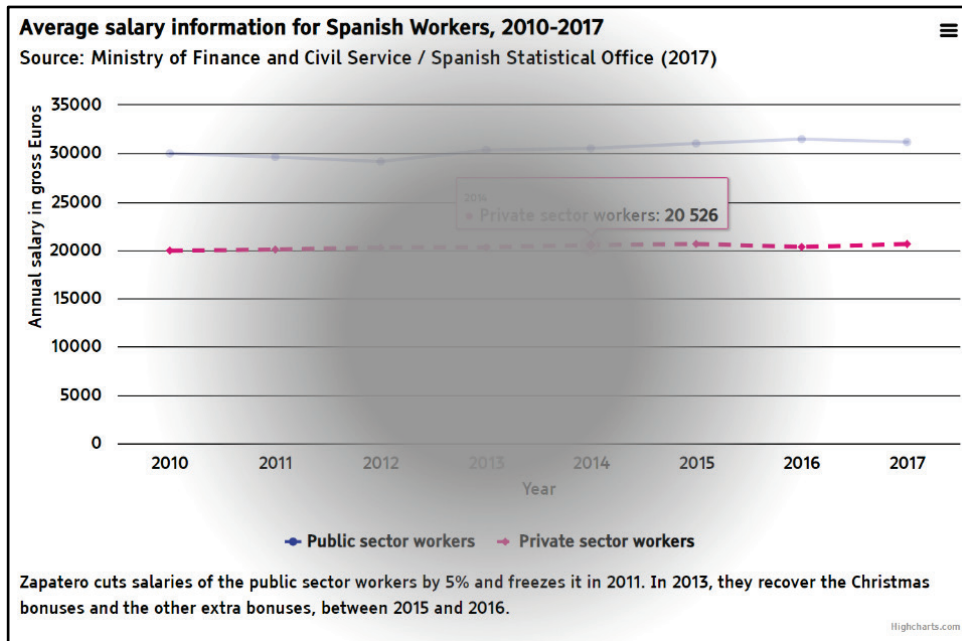
La **degeneración macular** es una enfermedad del ojo que puede provocar visión borrosa o nula en el centro del campo visual en zonas denominadas escotomas. La mácula es un área pequeña de la retina posterior cuyas patologías afectan a la visión fina (lectura, reconocimiento de rostros...) (Jacko *et al.*, 2000).

Se trata de una pérdida de visión que implica que los que la presentan dependan, en gran medida, de su visión periférica, adaptando su comportamiento a esta situación, lo cual se manifiesta en un constante movimiento de cabeza y ojos con el cual compensar la falta de visión en el campo central (Jacko *et al.*, 2000). Si bien el campo visual periférico se conserva, se trata de una patología que impacta severamente en la calidad de vida de la persona.

La degeneración macular es la principal causa de pérdida de visión irreversible en personas mayores de 60 años (Verdaguer, 2010). Las mujeres presentan un riesgo ligeramente más elevado a padecerla, así como las personas de raza blanca e iris claros (Evans; Fletcher; Wormald, 2004). Entre los principales factores de riesgo, además de causas hereditarias y la edad, encontramos al tabaquismo, la obesidad abdominal o los altos niveles de colesterol en sangre.

A continuación, se muestra una simulación del efecto de la degeneración macular (figura 3).

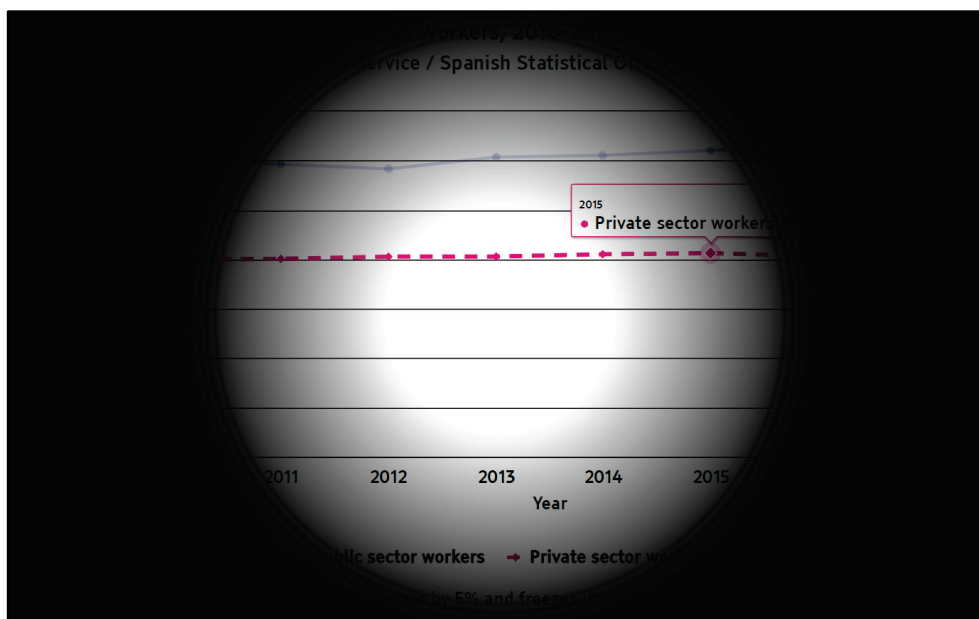
Figura 3. Simulación del efecto de la degeneración macular.



Glaucoma

El **Glaucoma** es un grupo de afecciones oculares que dañan el nervio óptico, generadas por un aumento de presión intraocular (National Library of Medicine, 2020b). Las personas con glaucoma presentan pérdida de visión periférica, junto con un área central borrosa, lo cual dificulta enormemente la lectura de textos. En Estados Unidos, el glaucoma es la segunda causa más común de ceguera. A continuación, se muestra una simulación del efecto del glaucoma (figura 4).

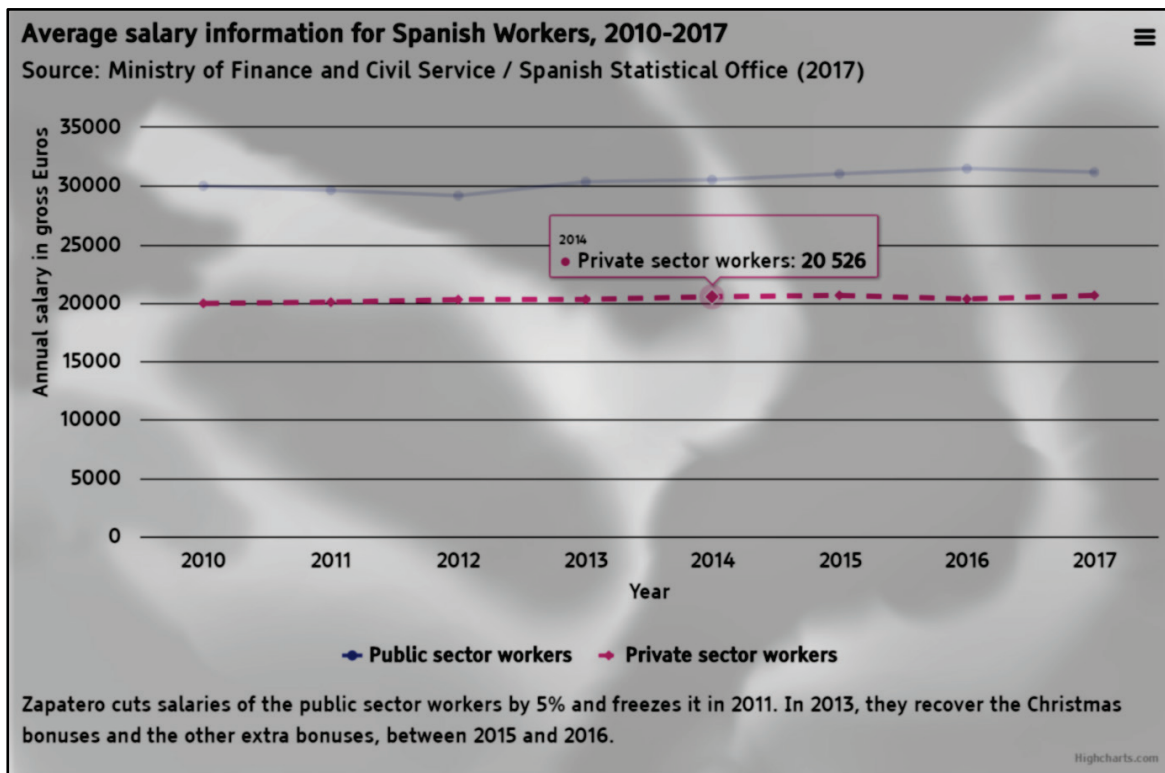
Figura 4. Simulación del efecto del glaucoma.



Retinopatía diabética

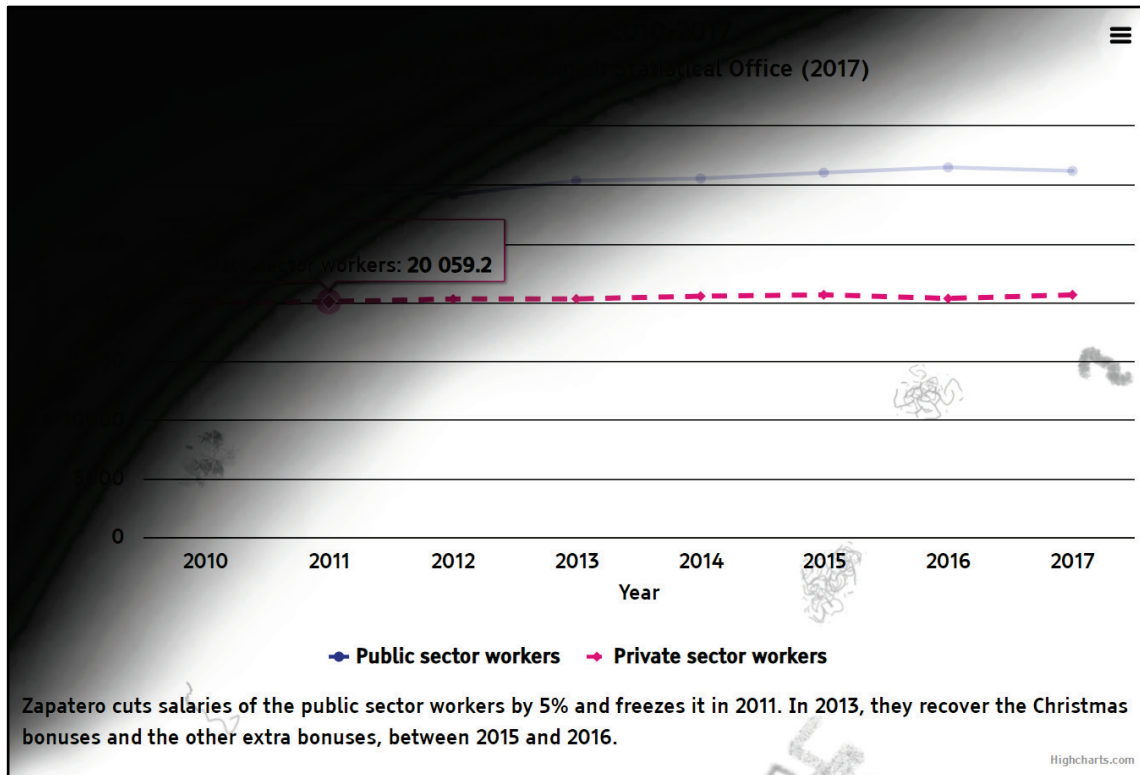
La **retinopatía diabética** es una complicación de la diabetes que daña los vasos sanguíneos de la retina. En etapas avanzadas puede provocar sangrado en los ojos y desprendimiento de retina, dañando gravemente la visión (Bonafonte; García, 2006), y siendo una de las principales causas de ceguera entre los estadounidenses de entre 20 y 74 años (National Library of Medicine, 2020c). A continuación, se muestra una simulación del efecto de la Retinopatía diabética (figura 5).

Figura 5. Simulación del efecto de la retinopatía diabética.



Quando se produce un desprendimiento de la retina, debido a la retinopatía diabética u a otras causas, el campo visual también puede ser percibido como la aparición de un telón negro desde alguna de sus esquinas (figura 6). Las personas con desprendimiento de retina también dependen mucho de una buena iluminación ambiental ya que los sensores encargados de adaptar al ojo en bajas condiciones de iluminación se encuentran en la zona dañada de la retina (Sánchez, 2015).

Figura 6. Simulación del efecto de un desprendimiento de la retina.

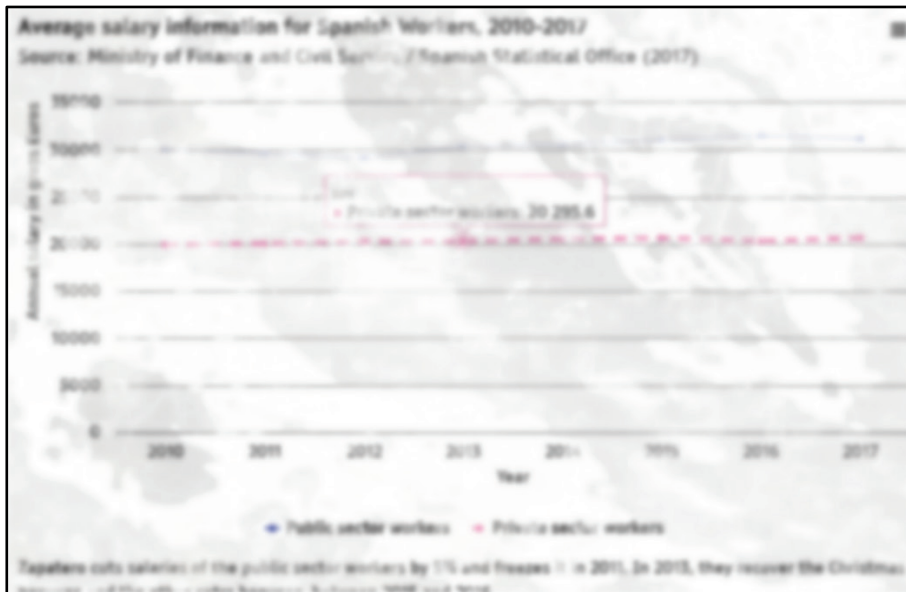


Cataratas

La **catarata** se da con la opacidad total o parcial del cristalino, provocando que la luz se disperse y no pueda enfocarse en la retina, dificultando de esta manera la visión (Laroche, 1998). Las cataratas, provocadas por la exposición a la radiación ultravioleta, el consumo de ciertos medicamentos o por la celiarquía (National Eye Institute, 2019) (Fousekis *et al.*, 2020), son una causa común de ceguera, aunque pueden tratarse mediante operaciones. Las consecuencias de las cataratas en las personas que las padecen provocan efectos borrosos o brumosos en la visión, especialmente en situaciones de luz brillante (WebAIM, 2013a), aunque también puede derivar en dificultades para apreciar colores. A continuación, se muestra una simulación del efecto de las cataratas (figura 7).

Gráficos estadísticos para personas con baja visión:
desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

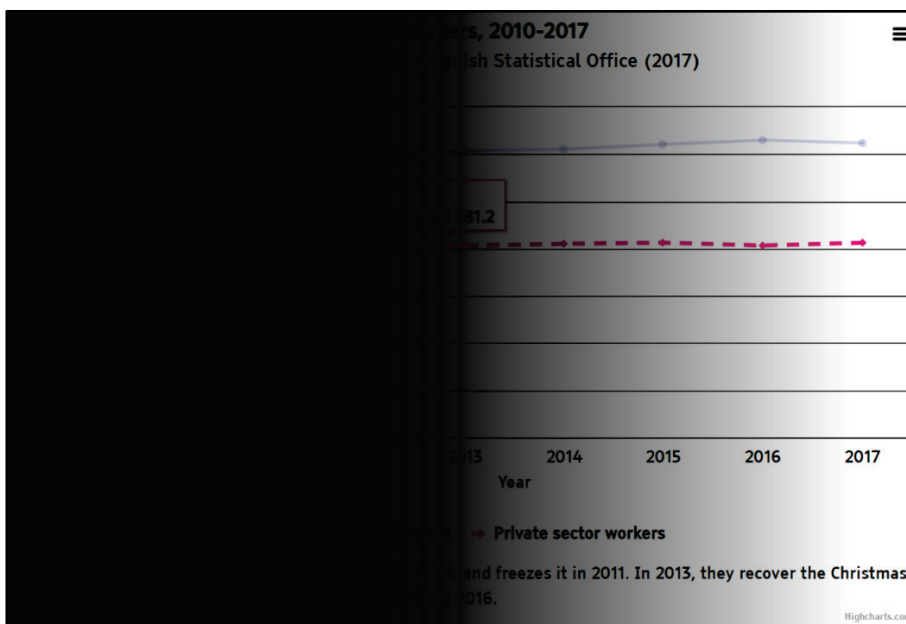
Figura 7. Simulación de los efectos de las cataratas.



Hemianopsia

Se conoce con el nombre de **hemianopsia** a la falta de visión o ceguera que afecta a la mitad del campo visual. En algunas ocasiones puede afectar a un sólo ojo y cuando lo hace en ambos afectar a la mitad derecha del campo visual del ojo izquierdo y a la izquierda del derecho (hemianopsia bitemporal), a la mitad izquierda del ojo izquierdo y a la derecha del ojo derecho (hemianopsia binasal), o a izquierda o derecha en ambos ojos (hemianopsia homónima izquierda o derecha). A continuación, se muestra una simulación del efecto de la hemianopsia (figura 8).

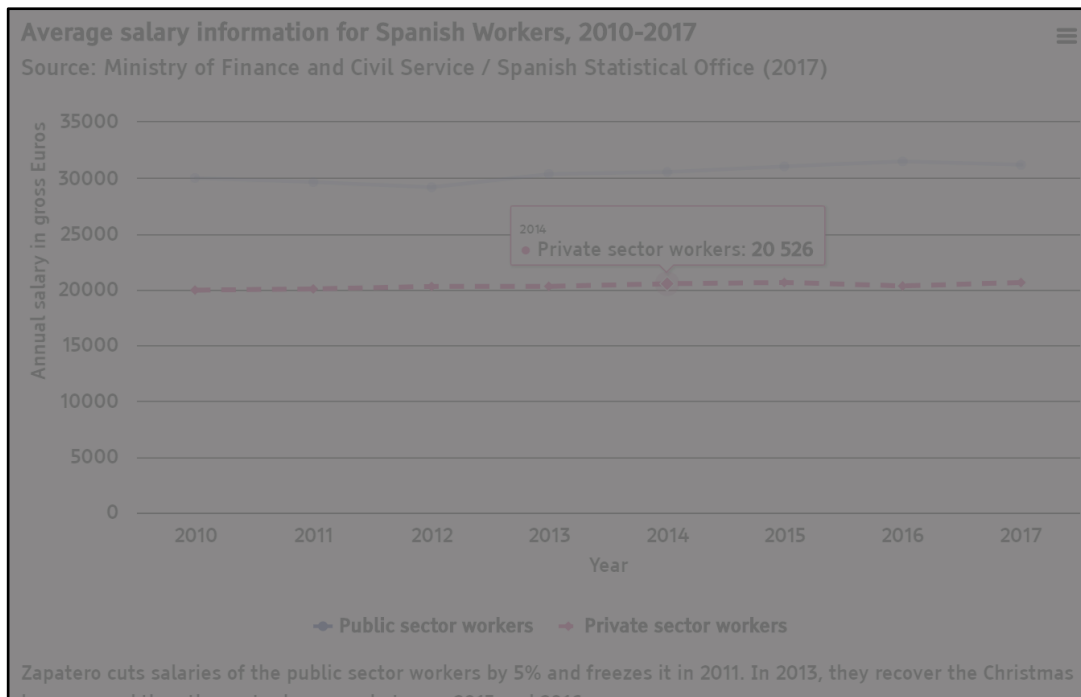
Figura 8. Simulación del efecto de la hemianopsia.



Relacionadas con las afecciones anteriores o como resultado de algún otro problema de visión, dentro del colectivo de personas con baja visión también podemos encontrar a personas con **sensibilidad al contraste** (figura 9), **a la luz** (fotofobia) o al **deslumbramiento**, con **diplopía** (figura 10), **ambliopía** (síndrome del ojo perezoso), **aniridia** (ausencia total o parcial del iris), **anoftalmia** (ausencia de uno o ambos globos oculares), **atrofia del nervio óptico**, **coriorretinitis** (inflamación de la coroides que se extiende a la retina), **enfermedad de Coats** (desarrollo anormal de los vasos sanguíneos situados detrás de la retina), **coloboma** (defecto congénito en el iris), **discapacidad visual cortical** (trastorno visual neurológico en la corteza visual), **displasia de retina** (crecimiento anormal de la retina), **estrabismo** (alineación anormal de los ojos), **hipoplasia del nervio óptico** (nervio óptico poco desarrollado), **histoplasmosis** (síndrome que afecta la coroides y la retina), **hipermetropía** (defecto ocular de refracción), **miopía magna**, **queratocono** (trastorno degenerativo de la córnea), **microftalmia** (trastorno hereditario que deriva en ojos anormalmente pequeños), **ptosis** (flacidez del párpado), **retinosis pigmentaria** (degeneración de la retina), **retinoblastoma** (cáncer asociado a la retina), **retinosquisis** (división de la retina en dos capas), **tracoma** (infección bacteriana de los ojos), **toxoplasmosis** (inflamación de la retina y la coroides), **oncocercosis**, **nistagmo** (movimientos incontrolables e involuntarios de los ojos asociados a problemas neurológicos) (Fariñas; Hernández; Álvarez, 2017) o **uveítis** (inflamación de la úvea), entre otras (Texas School for the Blind and Visually Impaired, 2016).

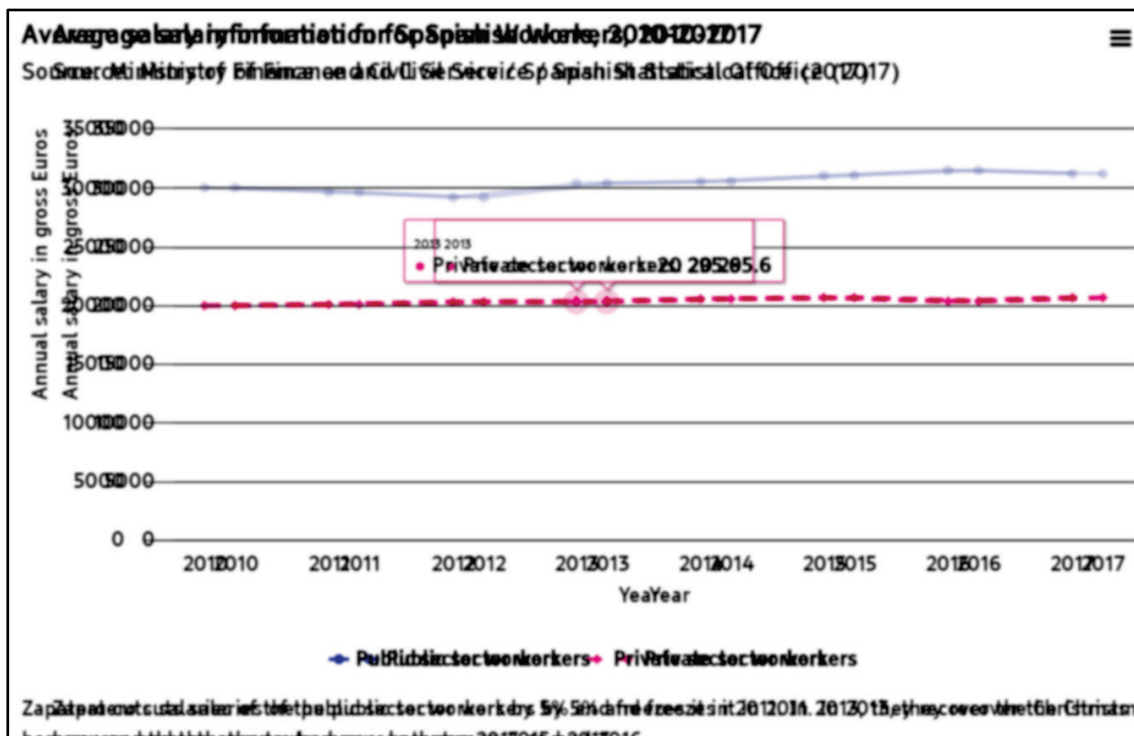
La tabla 2 recoge las patologías anteriores y algunas adicionales, junto con una breve descripción, los efectos sobre la visión, y las capacidades conservadas de quienes las presentan.

Figura 9. Simulación del efecto de la sensibilidad al contraste.



Gráficos estadísticos para personas con baja visión:
desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

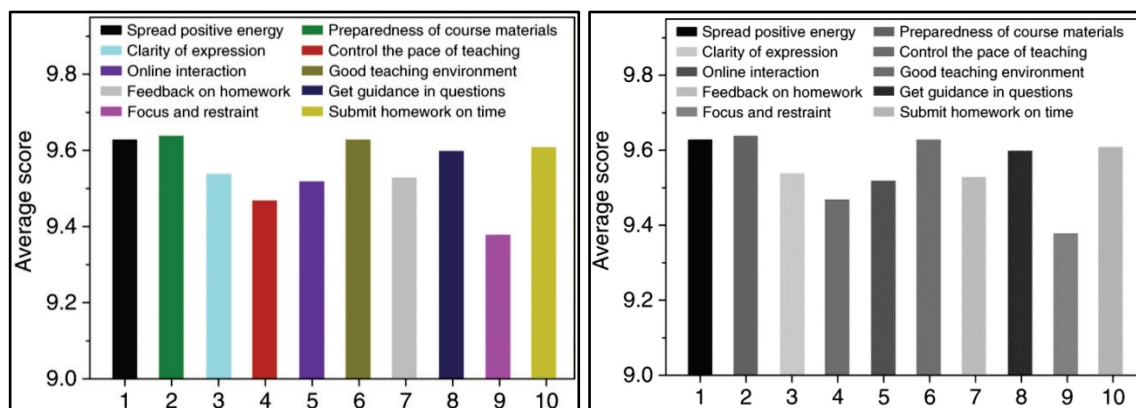
Figura 10. Simulación del efecto de la diplopía



Visión cromática deficiente

La visión cromática deficiente (VCD), daltonismo o ceguera al color es una alteración genética que afecta a la capacidad de las personas para distinguir ciertas combinaciones de colores. La VCD presenta un grado de afectación muy variable que va desde una ligera dificultad para discriminar ciertos matices de algunos colores, hasta la falta total de capacidad para distinguir cualquiera de ellos (acromatopsia) (figura 11). A pesar de esta gran variedad, en la gran mayoría de los casos se manifiesta en forma de deuteranopia (ausencia de fotorreceptores en la retina del color verde) y protanopia (ausencia total de fotorreceptores del color rojo). En menor medida, algunas personas presentan tritanopia (ausencia de fotorreceptores del color azul). Los tres casos anteriores se corresponden con el dicromatismo o disfunción de uno de los tres mecanismos básicos del color. No obstante, el grupo más abundante de personas con VCD se corresponde con los tricromáticos anómalos, los cuales presentan una percepción del color similar a los daltónicos dicromáticos, pero percibiendo los tonos ligeramente alterados. Dentro de este grupo se incluyen la deuteranomalia, la protanomalia y la tritanomalia.

Figura 11. Gráfico publicado en un artículo de la revista *Nature* y simulación del efecto de la acromatopsia.



Limitaciones situacionales

Más allá de las diferentes casuísticas anteriores, diferentes factores ambientales y tecnológicos también pueden reducir en las personas con visión normal su capacidad para percibir el contenido. Si bien los equipos informáticos se habían venido utilizando años atrás en entornos que podemos definir como “controlados” o “controlables” (iluminación artificial adaptable, postura de trabajo cómoda...), el contexto tecnológico actual se caracteriza por una gran diversidad de dispositivos, tipos y tamaños de pantalla y hábitos de uso personales y profesionales muy diversos.

El grupo de trabajo sobre baja visión del W3C⁵ considera los siguientes **factores ambientales** como causantes de barreras de accesibilidad (Allan; Kirkpatrick; Henry, 2019): brillo insuficiente, deslumbramiento y destellos provocados por el dispositivo, distancia y ángulos de visualización inadecuados, o el movimiento generado como consecuencia de terceros factores (por ejemplo, el traqueteo mientras se viaja en tren). Sobre estos factores ambientales es posible actuar mediante las opciones de configuración de los dispositivos de consulta. No obstante, en determinadas situaciones no es posible hacerlo, asemejando esas situaciones a las que caracterizan la interacción de diferentes perfiles de baja visión con una interfaz.

Todas estas barreras derivadas de diferentes circunstancias, entornos y condiciones, y que pueden afectar a cualquier persona (Henry, 2007), son conocidas bajo la denominación de **limitaciones situacionales** (Vanderheiden; Tobias, 1998). Entre las limitaciones situacionales que asemejan la interacción de cualquier usuario con la de una persona con baja visión, encontramos situaciones en las que el acceso al contenido se realiza mediante pantallas reducidas como, por ejemplo, la de los dispositivos móviles (situación similar a la de una persona con baja agudeza visual); la lectura en una pantalla retroiluminada en el exterior durante un día con un sol muy brillante (situación similar a la de una persona con sensibilidad al brillo); la lectura en espacios en los que sea

⁵ Low Vision Accessibility Task Force (LVTF). <https://www.w3.org/WAI/GL/low-vision-a11y-tf/>.

Gráficos estadísticos para personas con baja visión:
desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

complicado mantener la estabilidad (situación similar a las de las personas con Nistagmo); o la visión después de una prueba ocular que ha implicado la dilatación de las pupilas (similar a la de las personas con visión borrosa), entre otras.

Figura 12. Las pantallas retroiluminadas en situaciones de luz brillante reducen la capacidad de cualquier persona para apreciar el contraste.



Si bien la accesibilidad digital beneficia también a un conjunto mayor de usuarios que pueden encontrarse en situaciones temporales que asemejan su interacción con la tecnología a la de las personas con discapacidad, algunos autores como Henry *et al.* (2014), alertan del riesgo de ampliar la definición de accesibilidad hacia una mirada más amplia que persiga, no sólo abordar las barreras específicas con las que se topan las personas con discapacidad, sino también las derivadas de las limitaciones situacionales. El motivo es que ello puede hacer perder el enfoque centrado en las necesidades específicas de esos colectivos, hasta el punto de no abordarlas de manera efectiva. Es por esta razón que Henry *et al.* (2014), prefieren el término "limitación situacional", frente a "discapacidad situacional", utilizando en ocasiones también en la literatura científica.

Finalmente, también cabe destacar que estas limitaciones situacionales derivadas del contexto situacional o tecnológico, cuando afectan a personas con baja visión, derivan en situaciones que agravan aún más las barreras con las que ya de por sí se encuentran.

Baja visión y personas mayores

En el caso de las personas mayores, la **presbicia** es la principal causa de la pérdida gradual de la capacidad visual. La presbicia es un fenómeno que puede empezar a darse a partir de los cuarenta años y que empeora hasta los sesenta y cinco aproximadamente. En concreto, afecta a la capacidad de los ojos para enfocar objetos cercanos.

Cuando se mezcla con la edad, la baja visión es además un importante factor de riesgo para la depresión por el impacto psicológico que produce la pérdida de visión (Huang et al., 2010). Por otro lado, el colectivo de personas mayores con baja visión presenta también, por su edad, altas tasas de comorbilidad con discapacidades auditivas (Ryan, 2014), limitando aún más su independencia.

Como síntesis de este apartado, en la tabla 2 se recogen y describen las principales causas de la baja visión, así como los efectos sobre la visión y las capacidades conservadas de las personas de las presentan.

Gráficos estadísticos para personas con baja visión:
desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

Tabla 2. Resumen de los tipos de pérdida de visión y patologías asociadas.

Afecciones / Causas	Descripción	Efectos sobre la visión ⁶	Capacidades conservadas
Albinismo	Ausencia total o parcial del pigmento con desarrollo anormal del nervio óptico.	Disminución de la agudeza visual. Sensibilidad a la luz (fotofobia). Sensibilidad al deslumbramiento. Alto error de refracción. Astigmatismo. Escotomas centrales. Fatiga ocular con trabajo cercano o detallado. Percepción de profundidad reducida	Visión periférica. Percepción del color. Lectura con tamaños de texto de gran tamaño. Apreciar detalles.
Ambliopía	Disminución del funcionamiento visual en uno de los ojos.	Visión monocular. Disminución del campo visual. Percepción de profundidad reducida. Fatiga ocular con trabajo cercano o detallado.	Percepción del color. Lectura con tamaños normales de texto. Apreciar detalles.

⁶ Pueden darse uno o más de los efectos recogidos, pero no necesariamente todos simultáneamente.

Afecciones / Causas	Descripción	Efectos sobre la visión ⁶	Capacidades conservadas
Aniridia	Un trastorno genético que causa la ausencia total o parcial del iris.	Disminución de la agudeza visual. Sensibilidad a la luz (fotofobia). Pérdida de visión detallada (fina).	Lectura con tamaños de texto de gran tamaño. Visión central. Visión periférica. Sensibilidad al contraste. Percepción del color.
Anoftalmia	Ausencia de uno o ambos globos oculares.	Visión monocular. Disminución del campo visual. Percepción de profundidad reducida.	Visión central. Percepción del color. Sensibilidad al contraste.
Cataratas	Opacidad u nubosidad del cristalino, que restringe el paso de la luz a la retina.	Disminución de la agudeza visual. Visión borrosa o nublada. Capacidad reducida para discriminar colores. Sensibilidad a la luz (fotofobia). Sensibilidad al deslumbramiento. Visión de cerca reducida.	Visión central. Lectura con tamaños de texto de gran tamaño. Sensibilidad al contraste.

Gráficos estadísticos para personas con baja visión:
desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

Afecciones / Causas	Descripción	Efectos sobre la visión ⁶	Capacidades conservadas
Coriorretinitis	Inflamación de la coroides que se extiende a la retina.	Visión borrosa o nublada. Sensibilidad a la luz (fotofobia). Escotomas centrales. Imágenes distorsionadas.	Visión periférica. Lectura con tamaños de texto de gran tamaño. Percepción del color.
Enfermedad de Coats	Desarrollo anormal de los vasos sanguíneos situados detrás de la retina.	Disminución del campo visual central. Pérdida de visión detallada (fina). Visión nocturna reducida. Capacidad reducida para discriminar colores. Visión periférica reducida.	Lectura con tamaños de texto de gran tamaño. Sensibilidad al contraste.
Coloboma	Defecto congénito en el iris.	Disminución de la agudeza visual. Visión borrosa. Sensibilidad a la luz (fotofobia). Percepción de profundidad reducida. Visión periférica reducida.	Lectura con tamaños de texto de gran tamaño. Sensibilidad al contraste. Percepción del color.

Afecciones / Causas	Descripción	Efectos sobre la visión ⁶	Capacidades conservadas
Discapacidad visual cortical	Trastorno neurológico resultante de un daño al nervio óptico o partes del cerebro que procesan e interpretan la información visual.	Fluctuación en el funcionamiento visual. Visión periférica reducida. Sensibilidad a la luz (fotofobia).	Visión central. Lectura con tamaños de texto de gran tamaño. Sensibilidad al contraste. Percepción del color.
Retinopatía diabética.	Complicación ocular de la diabetes que está causada por el deterioro de los vasos sanguíneos que irrigan la retina.	Sensibilidad al deslumbramiento. Obstrucciones flotantes en el vítreo. Pobre discriminación de los colores. Visión doble.	Lectura con tamaños de texto de gran tamaño y alto contraste.
Diplopía.	Defecto muscular que restringe la capacidad de los ojos para trabajar juntos.	Confusión visual. Visión doble. Visión monocular. Visión borrosa o nublada. Pérdida de sensibilidad al contraste. Sensibilidad a la luz. Pobre discriminación de los colores.	Lectura con tamaños de texto de gran tamaño y alto contraste. Visión periférica.

Gráficos estadísticos para personas con baja visión:
desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

Afecciones / Causas	Descripción	Efectos sobre la visión ⁶	Capacidades conservadas
Glaucoma.	Enfermedad ocular que provoca un aumento de la presión en el ojo que daña el nervio óptico.	Pérdida de campo visual periférico. Visión nocturna reducida. Sensibilidad a la luz (fotofobia). Pérdida de sensibilidad al contraste. Dificultad con la orientación visual en el espacio. Respuesta limitada a la ampliación.	Visión central Lectura con tamaños normales de texto en buenas condiciones de iluminación. Apreciar detalles.
Hemianopsia	Ceguera o visión deficiente en la mitad del campo visual en uno o ambos ojos	Pérdida de campo visual periférico.	Visión central. Apreciar detalles. Sensibilidad al contraste. Percepción del color.
Histoplasmosis	Síndrome que afecta la coroides y la retina	Visión distorsionada. Puntos ciegos. Disminución del campo visual central. Pobre discriminación de los colores.	Visión periférica. Sensibilidad al contraste.

Afecciones / Causas	Descripción	Efectos sobre la visión ⁶	Capacidades conservadas
Hipermetropía	Error de refracción.	Disminución de la agudeza visual, especialmente la cercana.	Lectura con tamaños de texto de gran tamaño. Sensibilidad al contraste. Percepción del color.
Queratocono	Trastorno degenerativo de la córnea.	Distorsión de todo el campo visual, que empeora con poca luz. Disminución de la agudeza visual, especialmente la visión a distancia. Astigmatismo irregular. Sensibilidad al deslumbramiento. Visión nocturna reducida. Visión doble.	Lectura con tamaños de texto de gran tamaño y alto contraste en buenas condiciones de iluminación. Percepción del color.

Gráficos estadísticos para personas con baja visión:
desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

Afecciones / Causas	Descripción	Efectos sobre la visión ⁶	Capacidades conservadas
Degeneración macular.	Daño progresivo (degenerativo) a la parte central de los conos retinianos.	Visión borrosa o nublada central. Escotomas en el punto de fijación. Visión central distorsionada. Visión borrosa. Pobre discriminación de los colores. Dificultad para reconocer caras. Problemas de lectura. Pérdida de detalles y contraste. Sensibilidad al deslumbramiento.	Visión periférica. Lectura con tamaños de texto de gran tamaño. Sensibilidad al contraste.
Microftalmia	Un trastorno en el desarrollo de uno o ambos ojos que resultan anormalmente pequeños.	Disminución de la agudeza visual. Sensibilidad a la luz (fotofobia).	Visión central. Visión periférica. Lectura con tamaños de texto de gran tamaño.
Miopía magna	Miopía muy elevada (6-7 dioptrías)	Visión borrosa o nublada sin pérdida de campo visual.	Visión periférica. Lectura con tamaños de texto de gran tamaño.

Afecciones / Causas	Descripción	Efectos sobre la visión ⁶	Capacidades conservadas
Nistagmo	Movimientos incontrolables e involuntarios de los ojos asociados a problemas neurológicos	Disminución de la agudeza visual. Fatiga visual. Visión borrosa.	Lectura con tamaños de texto de gran tamaño. Sensibilidad al contraste. Percepción del color.
Hipoplasia del nervio óptico	Nervio óptico poco desarrollado.	Disminución de la agudeza visual. Pérdida de campo visual central o periférico.	Sensibilidad al contraste. Percepción del color.
Presbicia	Pérdida gradual de flexibilidad del cristalino que se produce con la edad.	Visión borrosa a distancia de lectura.	Visión central. Visión periférica. Lectura con tamaños de texto de gran tamaño. Sensibilidad al contraste. Percepción del color.
Ptosis	Caída (flacidez) del párpado.	Oscurecimiento del campo visual superior.	Sensibilidad al contraste. Percepción del color.

Gráficos estadísticos para personas con baja visión:
desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

Afecciones / Causas	Descripción	Efectos sobre la visión ⁶	Capacidades conservadas
Desprendimiento de retina	Separación de la membrana sensible a la luz (retina) en la parte posterior del ojo de sus capas de soporte (coroides)	Pérdida de campo visual periférico. Dificultad con la orientación visual en el espacio. Visión nocturna reducida. Respuesta limitada a la ampliación. Sensibilidad a la luz (fotofobia). Pérdida de sensibilidad al contraste.	Lectura con tamaños normales de texto en buenas condiciones de iluminación. Apreciar detalles.
Displasia de retina	Desarrollo o crecimiento anormal de la retina.	Pérdida de campo visual periférico. Escotomas en el punto central. Visión nocturna reducida.	Visión central. Sensibilidad al contraste. Percepción del color.

Afecciones / Causas	Descripción	Efectos sobre la visión ⁶	Capacidades conservadas
Retinosis pigmentaria	Degeneración de la retina.	Disminución de la agudeza visual. Pérdida de campo visual central o periférico. Visión nocturna reducida. Dificultad con la orientación visual en el espacio. Disminución de la percepción de profundidad. Sensibilidad a la luz (fotofobia).	Sensibilidad al contraste. Percepción del color.
Retinoblastoma	Cáncer que provoca el crecimiento de células malignas en la retina.	Estrabismo. Escotomas. Visión monocular (si se extirpan tumores)	Sensibilidad al contraste. Percepción del color.

Gráficos estadísticos para personas con baja visión:
desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

Afecciones / Causas	Descripción	Efectos sobre la visión ⁶	Capacidades conservadas
Retinosquiasis	Trastorno degenerativo en el que la retina se divide en dos capas separadas.	Disminución de la agudeza visual. Estrabismo. Escotomas. Pérdida de campo visual central y periférico. Pobre discriminación de los colores.	Sensibilidad al contraste.
Estrabismo	Alineación anormal de los ojos.	Pobre visión binocular. Disminución de la percepción de profundidad. Pobre coordinación ojo-mano. Dificultad para seguir objetos en movimiento. Dificultad para hacer contacto visual.	Sensibilidad al contraste. Percepción del color.

Afecciones / Causas	Descripción	Efectos sobre la visión ⁶	Capacidades conservadas
Toxoplasmosis	Inflamación congénita o adquirida de la retina y la coroides.	Disminución de la agudeza visual. Pérdida de campo visual central y periférico. Escotomas. Pobre discriminación de los colores. Sensibilidad a la luz (fotofobia). Sensibilidad al deslumbramiento.	Sensibilidad al contraste.
Tracoma	Infección bacteriana de los ojos y los párpados, que causa cicatrices.	Disminución de la agudeza visual. Visión borrosa. Sensibilidad a la luz (fotofobia). Sensibilidad al deslumbramiento.	Sensibilidad al contraste. Percepción del color.
Uveítis	Inflamación del tracto uveal (iris, coroides y cuerpo ciliar).	Disminución de la agudeza visual. Visión borrosa. Sensibilidad a la luz (fotofobia).	Sensibilidad al contraste. Percepción del color.

Gráficos estadísticos para personas con baja visión:
desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

Afecciones / Causas	Descripción	Efectos sobre la visión ⁶	Capacidades conservadas
Visión cromática deficiente (Deuteronomalía, Protanomalía, Tritanomalía, Deuteranopia, Protanopia, Tritanopia, Acromatopsia)	Alteración de origen genético que afecta a la capacidad de distinguir los colores.	Pobre discriminación de los colores. Imposibilidad para discriminar ciertas combinaciones de colores. Pérdida de detalle. Disminución de la agudeza visual. Escotoma en el campo central. Asociadas con nistagmo y fotofobia.	Visión central y periférica. Lectura con tamaños normales de texto.
Limitaciones situacionales	Situaciones cotidianas que asemejan la interacción de usuarios sin problemas de visión a la de usuarios con baja visión.	Pérdida de sensibilidad al contraste. Sensibilidad al deslumbramiento.	Lectura con tamaños normales de texto en buenas condiciones ambientales.

1.2.2. Barreras y soluciones habituales

Las patologías propias de este perfil de usuario vistas en el apartado anterior derivan en todo un conjunto de barreras que implican atender a ciertas características del contenido para asegurar su accesibilidad. Una barrera de accesibilidad es una condición que dificulta a las personas con discapacidad alcanzar un objetivo en el contexto de uso de un producto o servicio (Brajnik, 2011). A continuación, se recogen las principales barreras asociadas al perfil de usuarios con baja visión, así como las principales soluciones propuestas por las WCAG, la literatura científica y otras directrices o guías de diseño como GEL de la BBC⁷ o Carbon de IBM,⁸ entre otras.

Legibilidad tipográfica

La baja agudeza visual, así como otras alteraciones de la vista implican una dificultad en la lectura de textos, una morfología de contenido presente en la inmensa mayoría de los sitios de Internet. Garantizar la legibilidad del contenido es fundamental para varios perfiles de usuarios enmarcados dentro de la baja visión en vistas a minimizar esa barrera.

La literatura científica ha mostrado interés en averiguar las características que favorecen la legibilidad de los textos, tanto para el público en general, como para las personas con baja visión. En este sentido, los trabajos relacionados se han centrado en la selección de fuentes tipográficas; en determinar el tamaño (cuerpo) adecuado; en valorar el impacto del uso de diferentes estilos o variables (cursiva, versales, negritas...); en el impacto de determinados elementos decorativos; en valorar el rendimiento con uno u otro tipo de alineación del texto; en determinar la mejor medida para interlineados y espacio entre párrafos, palabras y letras; y en analizar el impacto del contraste entre texto y fondo.

La **fuerza y familia tipográfica** utilizada puede suponer una barrera en el acceso al contenido por parte de los usuarios con baja visión al determinar, en parte, la legibilidad del documento (Mansfield; Legge; Bane, 1996). Si bien no existe un consenso entre diseñadores sobre cuál es el tipo de fuente y familia más adecuado para los usuarios con baja visión, tanto la literatura publicada (Bernard; Liao; Mills, 2001), como los usuarios con baja visión (WebAIM, 2018) muestran preferencia por las fuentes sin serifa (*sans-serif*) o de palo seco. Las serifas (*serif*) son adornos ubicados generalmente en los extremos de las líneas de los caracteres tipográficos.

Lo cierto es que, a diferencia del medio impreso (Tinker, 1963), en el medio digital siempre se ha preferido a las fuentes sin serifa debido a las limitaciones de los monitores a la hora de representar correctamente las serifas, resultando éstas en letras borrosas (Nielsen, 2012). Esta es, de hecho, la razón de ser de ciertas fuentes pensadas específicamente para pantallas como la Verdana de Microsoft (1996), creadas en un

⁷ GEL (Global Experience Language) - <https://www.bbc.co.uk/gel>.

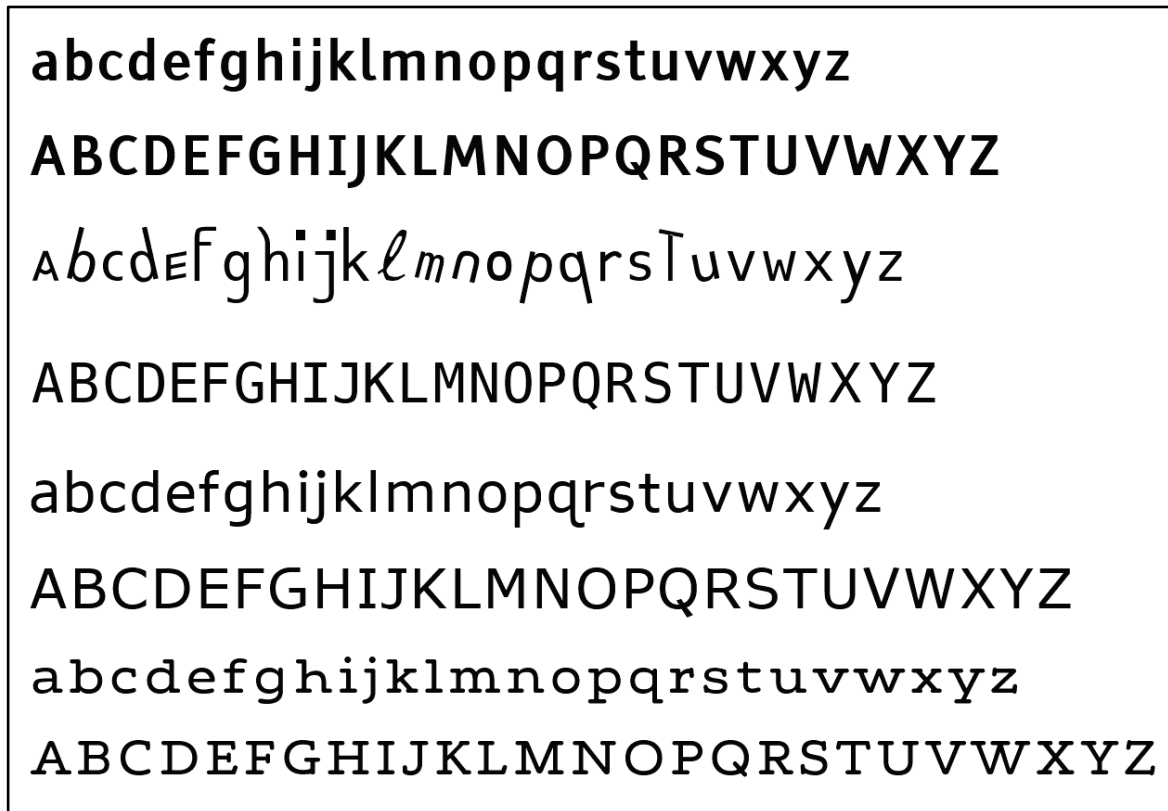
⁸ Carbon design system. <https://www.carbongesignsystem.com/>.

contexto en el cual la resolución dominante era de 640x480 píxeles y la densidad de píxeles de 60 ppi (Nielsen, 2012). A diferencia de otros principios propios de la usabilidad inalterables en el tiempo debido a su estrecha relación con las características humanas, en este caso, este principio se relacionaba directamente con una tecnología que en los últimos años ha mejorado considerablemente. En este sentido y, a falta de estudios que permitan determinar de manera fiable el rendimiento de un tipo de fuente y otro en pantallas en alta definición (1920x1080, 3840 x 2160 o incluso 7680x4320) y con densidades de píxel mucho mayores (por ejemplo, los 220,53 del MacBook Pro de 2016 de Apple, o los 279,73 del monitor Dell UP3218K), las altas resoluciones actuales de los dispositivos de visualización prácticamente igualan la legibilidad entre las fuentes con y sin serifa, por lo que las recomendaciones tradicionales en cuanto a limitar el número de fuentes diferentes y huir de las fuentes de fantasía y otros tipos de fuentes pensadas como decoración, son las principales recomendaciones a seguir (WebAIM, 2013c). No obstante, tal como se ha destacado anteriormente, la preferencia mayoritaria entre los usuarios con baja visión de las fuentes sin serifa también debe tenerse en cuenta.

Otro aspecto relevante respecto a la selección de la familia tipográfica es que exista una diferencia significativa entre ciertos caracteres numéricos y letras que en algunos casos son muy similares como, por ejemplo, entre el uno, la letra ele y la letra i mayúscula (1, l e l), los cuales pueden ser fácilmente confundidos por las personas con baja visión. También que el cuerpo sea ancho y existan grandes blancos internos y ojales (espacios en blanco en el interior de ciertas letras como la a, b, d, g o p). Entre las fuentes sin serifa, la literatura destaca el uso de algunas como la Verdana, Arial, Helvética o Courier.

Por otro lado, también encontramos diversas fuentes tipográficas surgidas como resultado de investigaciones relacionadas con la legibilidad. Este es el caso de la Lucida (Bigelow; Holmes, 1986; 2018), OvinkTest, PykeTest, SpencerTest y NeutralTest (Beier; Larson, 2010), Matilda (Bessemans, 2016) o Sitka (Larson; Carter, 2016). Finalmente, también existen algunas alternativas pensadas específicamente para las personas con baja visión como la Tiresias, la APHont, la Eido y la Maxular Rx (pensadas las dos últimas para mejorar el rendimiento de la visión periférica), pero sin un rendimiento superior demostrado (Rubin *et al.*, 2006; Bernard; Aguilar; Castet, 2016; Xiong *et al.*, 2018).

Figura 13. Fuentes tipográficas Tiresias, Eido, APHont y Maxular de Steven Skaggs.



Más allá de la fuente en concreto, determinadas **variantes** también pueden suponer barreras para las personas con baja visión. En general, se deben evitar las variantes *light* o *thin*, y utilizar las *regular* o *medium*, en combinación con la negrita (*bold*) para destacar ciertas palabras o encabezados del texto (Royal National Institute of Blind, 2007). En el mismo sentido, el texto en mayúsculas y cursivas es más complicado de leer (Tinker, 1963; Allan; Kirkpatrick; Henry, 2019), especialmente cuando se trata de textos continuos, porque todas las letras presentan formas y ángulos muy similares entre sí (Royal National Institute of Blind, 2007).

Por lo que respecta a las **mayúsculas**, presentan una velocidad de lectura entre un 9,53% y un 19,01% inferior a la de las minúsculas (Tinker, 1963). No obstante, cuando la tarea implica encontrar una palabra dentro de la página, las mayúsculas presentan un mayor rendimiento (Vartabedian, 1971), aunque en general, la forma de las letras minúsculas favorece el reconocimiento de las palabras (Rudnicky; Kolers, 1984). De acuerdo con Arditi y Cho (2007), las mayúsculas presentan un mayor rendimiento que las minúsculas para las personas con agudeza visual reducida y para personas con visión normal cuando el texto presenta un tamaño por debajo del límite de agudeza definido como el tamaño más pequeño que se puede leer. Sin embargo, esta ventaja desaparece cuando el tamaño de la fuente presenta un tamaño igual o superior a diez veces el límite de agudeza visual.

En cuanto a las **cursivas**, la inclinación de la letra también implica una alteración en su ritmo, en el cual, además de presentar velocidades de lectura inferiores (Wendt, 1994), sus caracteres presentan una dificultad añadida para ser reconocidos (Roethlein, 1912). La situación puede agravarse cuando, en lugar de utilizar la versión cursiva de una fuente, esta variable se introduce mediante la función “itálica” disponible en programas de diseño o de edición de textos, la cual no utiliza la versión cursiva real de la fuente –en la que a cada letra le corresponde una inclinación–, sino que se limita a inclinar todos los símbolos a un ángulo determinado, normalmente mayor al establecido por el diseñador en la versión cursiva de su fuente, lo que dificulta aún más la lectura de ese texto. Esta misma situación se produce también en el caso de las negritas. La figura x, muestra una comparación entre ambos estilos.

Si bien para determinados usuarios pueden ser negativas por resultar en distracciones (Fisher; Tan, 1989), algunas técnicas orientadas a destacar ciertas palabras o componentes cuando estos reciben el foco del teclado o el ratón pueden ser de utilidad para los usuarios con baja visión, para ayudarles a situarse en la interfaz. Es por esta razón que un uso comedido y planificado de ciertos estilos como las **negritas** o el uso de mayúsculas puede estar justificado en ciertos contextos.

Figura 14. Variantes de la fuente tipográfica Roboto diseñada por Christian Robertson. Una fuente diseñada para ser utilizada en dispositivos con pantallas pequeñas.

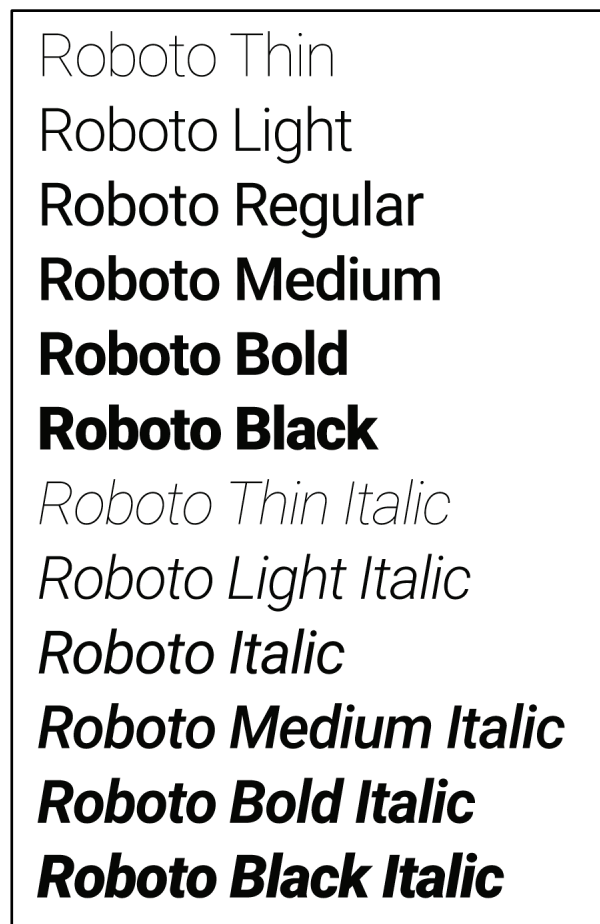
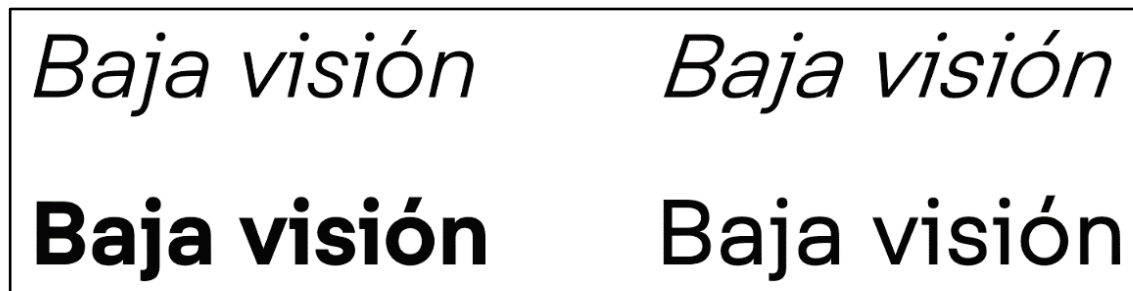


Figura 15. En la parte superior, Itálica real vs. itálica electrónica. En la parte inferior, negrita real vs. negrita electrónica.



El **peso** afecta al trazo de los signos al modificar la relación entre el ancho del trazo y las contraformas de cada signo tipográfico (Fernández; Ibarra, 2012), haciendo candidata a esta variable a situaciones en las cuales es necesario evidenciar la distinción de una palabra o frase. Los resultados del estudio de Paterson y Tinker (1940) no muestran diferencias entre la velocidad de lectura entre pesos normales y negritas, sin embargo, la mayoría de los lectores afirman preferir pesos medios (Tinker, 1963).

Por su parte, las **versalitas** son alfabetos con estructura de mayúsculas, pero que mantienen la altura de los signos de caja baja. Como en el caso de las cursivas y negritas, los programas de edición de texto permiten forzar esta variable introduciendo versalitas que consisten en una simple capitalización y reducción de los signos al 75% de su tamaño, provocando situaciones en las cuales las letras resultantes no presentan la altura de las minúsculas (Fernández; Ibarra, 2012). En general, tal y como también se ha mencionado para las mayúsculas y cursivas, el texto en minúsculas es más legible que en versalitas (Tinker, 1963).

Finalmente, la variable "**ancho**" produce un cambio en la estructura de la letra que implica la modificación de sus proporciones sin variar el trazo (Fernández; Ibarra, 2012). Una variable que, como en el caso de las anteriores, también se puede introducir por medios digitales a través de las opciones de los procesadores de texto. La mayoría de las fuentes que podemos encontrar en publicaciones impresas y sitios web son de "ancho variable", lo cual implica que cada letra presenta un ancho diferente (Bigelow, 2019). Por su parte, las fuentes de "ancho fijo" o *monospace* presentan letras y caracteres con el mismo ancho. Las letras de ancho variable presentan una relación media inferior a las de ancho fijo entre su ancho promedio y la altura de x, generalmente inferior a la unidad (por ejemplo, en la Helvetica es de 0.92.). En relación con esta ratio, los resultados del Ardití (1996) muestran una mayor legibilidad en aquellas en las que el valor es inferior a uno, por lo tanto, favorable en gran medida a las fuentes de ancho variable.

Respecto al **tamaño de la fuente**, aunque este puede ser ajustado tanto con las opciones propias del navegador, como con los magnificadores de pantalla, conviene utilizar un tamaño de texto inicial suficiente (Nielsen, 2002) al tratarse también de un parámetro decisivo en la legibilidad de un texto (Xiao; Xu; Lu, 2010). En este sentido, el Royal

National Institute of Blind (2007) recomienda no bajar de los 12 puntos, mientras que asegura que aproximadamente el 96% de la población es capaz de leer textos con una fuente de 14 puntos sin problemas. En la misma línea, la American Printing House for the Blind (Kitchel, 2019) y autores como Nielsen (2002), tampoco recomiendan bajar de los 12pt, que se equiparan usualmente a los 16px considerados como un estándar para la lectura en pantalla. De acuerdo con el Royal National Institute of Blind (2007), a medida que se aumenta el tamaño de la fuente se observan mejores resultados en términos de legibilidad, hasta los 20 puntos, momento en el que dejan de apreciarse mejoras. Un resultado similar al del estudio de Rello, Pielot y Marcos (2016) en el cual se observa una mejor legibilidad y comprensión del texto hasta los 18 puntos, mientras que más allá de los 22, dejan de observarse mejoras.

Estas recomendaciones se orientan fundamentalmente a usuarios con una agudeza visual reducida. No obstante, cuando lo que se ha perdido es el campo visual periférico, pero se goza de una buena agudeza visual en la visión central, algunos usuarios pueden preferir tamaños de letra algo más pequeños para poder ver una mayor cantidad de contenido de manera simultánea (Allan; Kirkpatrick; Henry, 2019).

La **altura x**, un concepto que en tipografía se refiere a la altura de las letras minúsculas sin tener en cuenta ni los ascendentes ni descendentes, afecta directamente a la legibilidad de las fuentes especialmente cuando tratamos con tamaños pequeños. Es por esta razón que dos fuentes con el mismo tamaño en puntos o píxeles pueden aparentar ser más o menos grandes según su altura x (figura 16). A efectos prácticos, esto implica que la altura de la x es una medida más precisa para referirse al tamaño mínimo adecuado para ciertos perfiles de usuario.

Figura 16. Diferentes fuentes tipográficas con distintas alturas de la x. En la selección de fuentes tipográficas se observa cómo, la fuente Montserrat con una mayor altura x y con los mismos puntos que la Lato o la Gill Sans, aparenta ser mayor a estas dos últimas.

Gráficos estadísticos	Gill Sans MT 12pt
Gráficos estadísticos	Lato 12 pt
Gráficos estadísticos	Montserrat 12pt

La tradición tipográfica marca algunas características de los textos como el uso de un tamaño de fuente superior en **títulos** y **encabezados de sección**. El problema de esta práctica es que, si bien cumplen correctamente con su función de destacar el inicio de una sección cuando el documento se visualiza en el tamaño previsto por el diseñador, crecen exageradamente en proporción al resto del texto de la página cuando ésta es redimensionada (Dick, 2006), limitando enormemente la cantidad de palabras en

pantalla. Es por esta razón que algunas personas con baja visión prefieren reducir el tamaño de estos elementos para evitar este problema al hacer zoom (Dick, 2006).

Por lo que respecta a los números, tipográficamente hablando pueden ser proporcionales (con ancho variable) o tabulares (con ancho fijo, es decir, que ocupan el mismo espacio). Los números proporcionales se diseñan para acomodarse junto al texto de la manera más estética posible, mientras que los tabulares están pensados para el trabajo con datos (France, 2020). El hecho de ocupar el mismo ancho hace que con los números tabulares resulte más fácil el reconocimiento de los números y sus posiciones, o procesos como realizar comparaciones entre valores. Otra posible clasificación responde a si los caracteres numéricos presentan o no ascendentes y descendentes, dando lugar a dos tipos de números: modernos y elzevirianos. Al presentar ascendentes y descendentes como las letras minúsculas, los elzevirianos se integran mejor en un texto continuo que en el contexto de una tabla.

Figura 17. En la parte superior, fuente Montserrat (números proporcionales). En la parte inferior, fuente Lato (números tabulares).

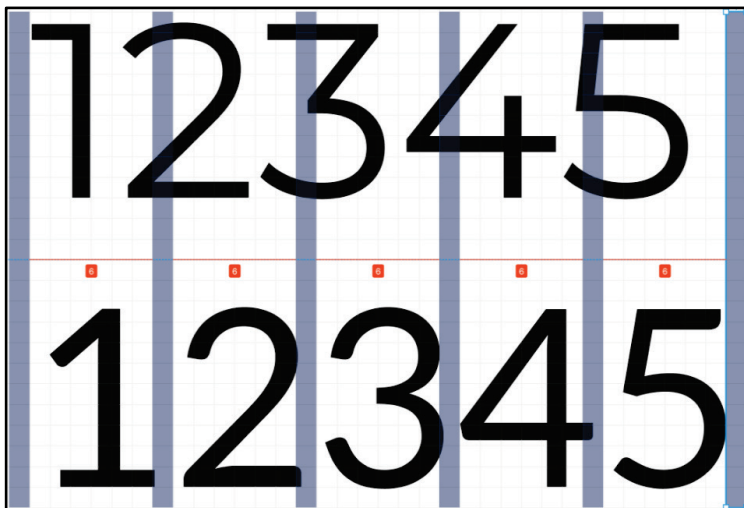
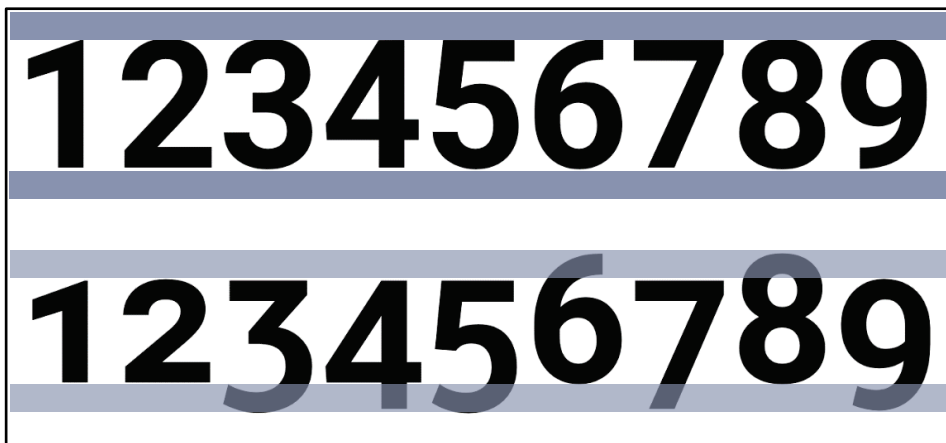


Figura 18. Números modernos (arriba) y elzevirianos (abajo) aplicados a la fuente Roboto.



El **contraste entre texto y fondo** es igualmente esencial para asegurar la legibilidad de los caracteres de un documento (Knoblauch; Arditi; Szlyk, 1991). Nielsen (2015) recomienda además el uso de fondos planos, evitando mostrar el texto sobre texturas o imágenes que puedan interferir en el reconocimiento de los detalles finos de cada letra. En general, la mayoría de los usuarios prefieren la **polaridad positiva** (caracteres oscuros sobre fondo claro) en pantalla (Radl, 1983).

Esta polaridad, teóricamente reduce la distorsión óptica y aumenta la agudeza visual, la sensibilidad al contraste, velocidad de acomodación y profundidad de campo (Bauer; Cavonius, 1983). Sin embargo, se trata de un tema controvertido (Pawlak, 1986; Taylor; Rupp, 1987). De hecho, el estudio de Legge *et al.* (1985), muestra un mejor rendimiento en la lectura para las personas con visión borrosa cuando se utilizan interfaces con **polaridad negativa** (caracteres claros sobre fondo oscuro). Contrariamente, el trabajo de Piepenbrock *et al.* (2013) con personas con visión normal, muestra un mejor rendimiento para la polaridad positiva.

Poder alternar entre uno y otro modo supone una importante ayuda para aquellos usuarios que lo precisen en aras de una mejor legibilidad, permitiendo a los usuarios con baja visión interactuar más fácilmente con el contenido (Bergel *et al.*, 2015).

Composición de textos

La **alineación a la izquierda** asegura un ritmo de lectura constante y una mejor legibilidad (Tinker, 1963) (Royal National Institute of Blind, 2007), frente a la justificación que fuerza el espacio entre palabras y genera los denominados “ríos” que implican una mayor dificultad de lectura (Allan; Kirkpatrick; Henry, 2019). Por su parte, diversos autores han destacado la necesidad de utilizar un **espacio suficiente entre letras** (Arditi, 1996), **palabras y líneas** (Calabrese *et al.*, 2010) (Blackmore-Wright; Georgeson; Anderson, 2013), especialmente cuando el lector presenta pérdidas de visión central (Russell-Minda, 2007).

No obstante, aunque algunos usuarios afirman utilizar el máximo espacio posible entre letras, palabras y líneas (Dick, 2006), la realidad es que, si bien la mayoría de ellos si acostumbran a modificar el tamaño de la fuente mediante ayudas técnicas o del navegador, pocos personalizan estas otras características (WebAIM, 2018). De acuerdo con Wilkins y Nimmo-Smith (1987), aumentar el espacio entre líneas y disminuir proporcionalmente el espacio horizontal permite mejorar la legibilidad sin afectar a la densidad del texto.

En general, se considera un **interlineado** suficiente el de entre 1,5 o 2 veces el espacio entre palabras para asegurar una buena legibilidad (Royal National Institute of Blind, 2007). Por su parte, Lunn y Banks (1986) sugieren que el interlineado debería ser variable para evitar la fatiga resultante de la adaptación espacial. Finalmente, anchos de línea excesivos también perjudican la legibilidad del documento tanto para usuarios con baja visión, como para usuarios sin discapacidad por la dificultad para el lector para ubicar el

comienzo de nuevas líneas tras largos movimientos oculares (Bouma, 1980; Beckmann; Legge, 1996), una situación que se agrava en combinación con el uso de magnificadores de pantalla ya que implica largos movimientos a izquierda y derecha (Allan; Kirkpatrick; Henry, 2019). En este sentido, diversos autores recomiendan **anchos de línea** de entre aproximadamente sesenta y setenta caracteres (Davidov, 2002; Royal National Institute of Blind, 2007) en el caso de textos a una columna, y de entre cuarenta y cincuenta caracteres para textos en múltiples columnas (Al-Samarraie; Muthana, 2017).

Otra práctica que evitar es la de **cortar las palabras al final de cada línea** mediante guiones ya que, aunque afecta principalmente a usuarios con discapacidades cognitivas por dificultar su capacidad para comprender esas palabras (Allan; Kirkpatrick; Henry, 2019), también tiene efectos negativos sobre la velocidad de lectura (Nas, 1988). No obstante, algunos usuarios con baja visión que precisan de tamaños de fuente muy grandes prefieren la silabificación ya que con ella se consigue un mayor número de caracteres por línea (Allan; Kirkpatrick; Henry, 2019).

En general, las composiciones de página en las que se utilizan **diversas columnas** suponen una barrera para los usuarios con baja visión, que deben enfrentarse a una interfaz que les obliga a hacer mayores recorridos con el magnificador de pantalla. Desplazarse del final de una columna hasta el principio de la siguiente requiere de una considerable atención por parte de los usuarios (Allan; Kirkpatrick; Henry, 2019). Diferentes estudios han analizado si la velocidad de lectura y la comprensión de un texto se veían influidos por el tipo de composición de la página.

Los resultados de Dyson y Kipping (1997) muestran un tiempo de lectura ligeramente superior en un documento web compuesto por una única columna ancha que, en el mismo texto compuesto por tres columnas, e indican que aún podrían mejorarse combinando la columna única con un ancho de línea más reducido. Unos resultados en la misma línea que los de Kurniawan y Zaphiris (2001), Yi *et al.*, (2011), Ganayim e Ibrahim (2013) o Harley *et al.* (2013).

Cuando la composición de la página utiliza columnas para mostrar el contenido, se debe garantizar un espacio suficiente entre ellas (Royal National Institute of Blind, 2007) o, en su defecto, utilizar bordes sólidos y de colores con suficiente contraste para permitir diferenciar cada bloque de contenido (Allan; Kirkpatrick; Henry, 2019). Finalmente, composiciones de página confusas y en las que el contenido no se muestra de acuerdo con criterios de jerarquía e importancia también suponen una importante barrera para este colectivo (UK Disability Rights, 2004).

Si bien la composición de textos no es a priori una característica que pareciera importar para garantizar la accesibilidad de los gráficos estadísticos, lo cierto es que, para asegurar su accesibilidad, no es posible dissociar estas figuras de la página web o documento en la cual se encuentran y, de la cual, en la mayoría de las situaciones, el gráfico será un complemento o mostrará los resultados de lo que se pretenda comunicar con ese documento. Por otro lado, en muchas ocasiones el tamaño de las imágenes en un sitio web depende del ancho de la columna dentro de la cual se ubique

esa figura. Es por esta razón que las páginas web con una disposición del texto en diversas columnas tenderán a mostrar imágenes de menor tamaño, sin que eso evite, no obstante, poder enlazarlas a una versión a tamaño completo o en alta resolución.

También con respecto a la composición de la página, Nielsen (2015) recomienda ubicar en la parte superior de las páginas un reclamo destacando el interés y utilidad del contenido para atraer la atención del usuario. Más allá de su evidente implicación práctica como estrategia de captación de lectores y los beneficios que pueda mostrar en cuanto al tiempo en permanencia en página de los usuarios que acceden a páginas que cumplen esta premisa, lo cierto es que los usuarios con baja visión también se pueden beneficiar de esta recomendación si lo que se ubica en las zonas más altas o destaca de la interfaz es el contenido más importante del documento.

Otra situación problemática derivada de un campo de visión limitado y, en cierta manera, también relacionada con la composición de la página, es la dificultad que presentan estas personas para obtener una idea general de la página que están consultando. Se trata de una tarea que implica aún mayores esfuerzos cuando se utilizan magnificadores de pantalla ya que la zona visible se reduce considerablemente para poder ampliar los elementos enfocados con la lupa.

La recuperación de la información es una actividad clave en el acceso a la Web e implica, en los usuarios con visión o que conservan un resto de visión, la búsqueda visual. De acuerdo con Scott (1993) y Wolfe (1994), el proceso de búsqueda visual implica dos etapas básicas: 1) procesamiento general de la interfaz, a partir del cual se extrae una cantidad limitada de información; y 2) extracción de información de áreas del campo visual de interés para el usuario. Disponer de un mayor o menor campo visual, el lugar donde se ubica la información de interés para el usuario dentro de la interfaz, así como la visibilidad de los elementos (contraste, tamaño, estilo...), pueden implicar un mejor o peor rendimiento en el proceso de recuperación de la información. En usuarios con un campo visual central o periférico limitado estos procesos se ven limitados afectando su capacidad para llevarlos a cabo con eficiencia.

A modo de conclusión, como hemos podido observar, las diferentes características que hacen más o menos legible un texto están estrechamente interrelacionadas. Por ejemplo, un mismo contraste puede ser suficiente o no según el tamaño de la fuente u otras variables como su peso o ser determinante en la velocidad de lectura (Legge *et al.* 1987). Asimismo, la decisión de optar por un mayor o menor interlineado depende del espacio entre palabras o el ancho de la línea.

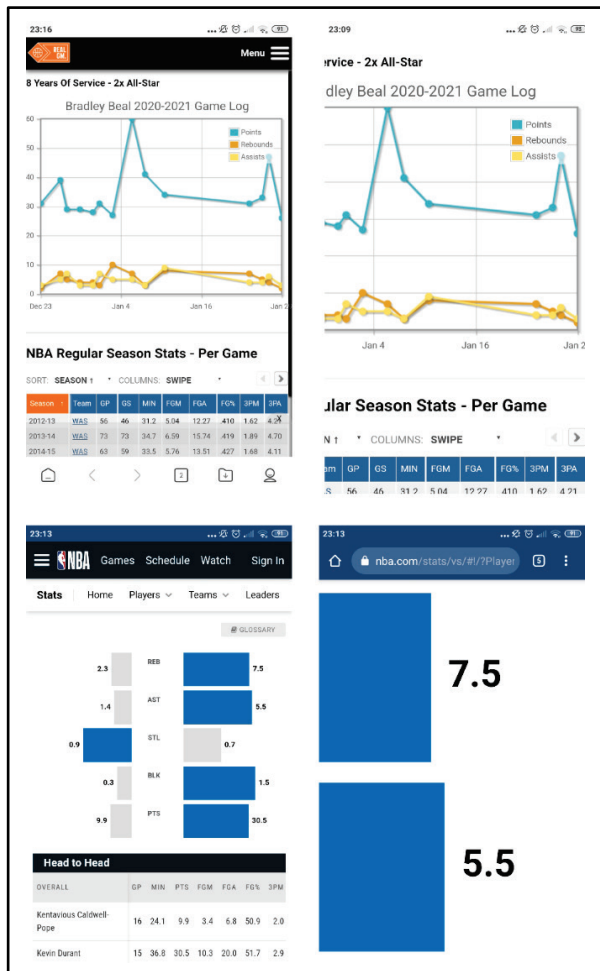
Redimensionado

Poder ajustar el **nivel de zoom** es un requisito fundamental para asegurar la accesibilidad para las personas con baja visión (Allan; Kirkpatrick; Henry, 2019). Las WCAG 2.1 contemplan la necesidad de poder redimensionar el texto hasta un 200% sin la intervención de ayudas técnicas como los magnificadores de texto. Sin embargo,

algunos usuarios con baja visión precisan redimensionar el texto de una fuente de 12 puntos entre un 200% y un 500%, pudiendo llegar al 600% en momentos de cansancio (Dick, 2006).

Este requisito es posible alcanzarlo mediante las herramientas de zoom integradas en el navegador, siempre y cuando el desarrollador no impida utilizarlas. Este es el caso, por ejemplo, del uso del atributo y valor "user-scalable=no" en la metaetiqueta *viewport* encargada de gestionar el comportamiento de la ventana gráfica del navegador. En ocasiones, el problema no es la imposibilidad de redimensionar el texto lo que genera una barrera para los usuarios con baja visión, sino que lo que complica su interacción con el contenido es el *scroll* horizontal que se genera como consecuencia de tal ampliación. Al llevar a cabo este proceso, los elementos de la interfaz no sólo pueden desbordar el ancho de la pantalla introduciendo *scroll* horizontal, sino que, en ciertas ocasiones, esos mismos elementos pueden acabar sobreponiéndose unos a otros (Bigam, 2014), limitando o imposibilitando su visionado.

Figura 19. En la parte superior, se observa el sitio web basketball.realgm.com al 100% y al 125% de su tamaño, zoom máximo impuesto mediante la metaetiqueta *viewport*. En la parte inferior, el sitio web nba.com no impone ningún límite al usuario a la hora de ampliar el contenido.



Los sitios web con *scroll* horizontal implican situaciones molestas y problemáticas para las personas con baja visión, especialmente para los usuarios de magnificadores de pantalla, los cuales se ven obligados a desplazarse aún más entre izquierda y derecha dentro del limitado espacio ampliado por el magnificador.

La generalización del diseño web responsivo (DWR) (Marcotte, 2011) para crear sitios web en un contexto cada vez más dominado por los dispositivos móviles evita, precisamente, este tipo de situaciones. El DWR es una técnica de conceptualización y desarrollo de sitios web que permite adaptar los contenidos y características a los diferentes tamaños de pantalla de los diversos dispositivos a través de los cuales se puede acceder hoy en día a la Web, partiendo de una única versión de su código fuente (Alcaraz, 2016).

Al usar esta técnica, los tamaños de los componentes de un sitio web o los anchos de línea, entre otros, se adaptan al espacio disponible en las pantallas de cada dispositivo, evitando el *scroll* horizontal. Esto incluye también aquellas situaciones en las cuales el usuario hace zoom con las opciones nativas del navegador.

Internamente, los navegadores llevan a cabo el redimensionado del contenido de la página multiplicando las dimensiones de sus elementos por el factor de zoom seleccionado por el usuario (50%, 100%...).

En comparación con el uso de magnificadores de texto, la utilización de las opciones de zoom nativas del navegador en sitios web responsivos se puede traducir en un mejor rendimiento en determinadas tareas. En relación con este punto, el trabajo de Hallett et al. (2015) muestra una mayor eficiencia en tareas relacionadas con la lectura y comprensión del contenido, así como en tareas relacionadas con la introducción de datos, por parte de personas con baja visión. No obstante, en el caso de los usuarios con pérdida de visión en el campo central, el desplazamiento horizontal aporta beneficios, respecto al desplazamiento vertical (Harvey; Walker, 2014).

Cuando el redimensionado se realiza desde una pantalla de dimensiones reducidas como la de un dispositivo móvil, el tamaño de la interfaz todavía es mucho más limitado una vez se ha llevado a cabo la ampliación del contenido, tanto en disposición vertical, como en horizontal, pero, sobre todo, en la primera. De ahí, la importancia de cumplir con requisitos como el del criterio de conformidad 1.3.4 (*orientation*) (W3C, 2020) de la versión 2.1 de las WCAG, que establece que el usuario debe poder usar la pantalla en la orientación de su preferencia.

Otra barrera asociada al redimensionado de los elementos de la interfaz la encontramos en el denominado “**punto de mirada**” o de atención (Allan; Kirkpatrick; Henry, 2019). El “punto de mirada” es aquella parte o elemento de la interfaz en la que el usuario sitúa su atención (por ejemplo, la primera palabra de un párrafo justo cuando comienza a leer ese bloque de texto). Los usuarios con baja visión modifican constantemente el nivel de zoom de la página, lo que puede dejar fuera de la zona visible en pantalla el punto de mirada en el que se habían situado. Cuando esto pasa, volver a encontrar esa posición en la página puede ser una tarea difícil para este colectivo. Por otro lado, cuando implica no

la localización de la posición de lectura, sino la consecución de tareas como el envío de formularios, puede implicar errores involuntarios (W3C, 2016d).

En particular, la degeneración macular además de reducir la visión central, provoca una reducción del rendimiento –tanto por lo que respecta a la precisión, como a la velocidad– de los usuarios en tareas como la identificación de iconos (Scott; Feuer; Jacko, 2002a), situación que es todavía más acusada a medida que disminuye el resto visual y el tamaño de estos componentes (Scott; Feuer; Jacko, 2002b). En este sentido, tal y como ya hemos destacado en relación con las fuentes tipográficas, es necesario asegurar que los iconos que se utilizan en un sitio web sean lo suficientemente grandes como para asegurar su correcta percepción, además de permitir su redimensionado.

Finalmente, por lo que respecta a la **velocidad en el movimiento del cursor del ratón**, las personas con degeneración macular y agudeza visual reducida presentan también una menor eficiencia en tareas que implican el movimiento del cursor del ratón. Unos resultados que mejoran a medida que los elementos de la interfaz aumentan de tamaño (Jacko *et al.*, 2000).

Tablas

Las **tablas** son uno de los elementos más complejos de gestionar en el diseño web, por la dificultad de acomodarlas a las múltiples resoluciones y tamaños de pantalla desde los cuales es posible acceder hoy en día a la Web. En el caso de las personas con baja visión, el redimensionado de las tablas puede generar que el contenido desborde ciertas celdas, o que la misma tabla desborde la pantalla generando *scroll* horizontal.

Cuando no se muestran los bordes de cada celda o tampoco los límites de las tablas – práctica habitual para conseguir tablas más estéticas–, se añade una barrera adicional por la dificultad para saber dónde empieza y acaba cada celda o diferenciar el contenido de la tabla con otros textos cercanos en la página (Durbin, 2004; Dick, 2006; Saver, 2006).

También cabe destacar la dificultad añadida que supone para los usuarios de magnificadores de pantalla el poder ver la relación que se establece entre una celda concreta y su encabezado correspondiente cuando hacen zoom, o el hecho mismo de poder ver sólo una pequeña parte de cada una de las filas de datos, lo que dificulta tener una visión global de los mismos.

Gráficos estadísticos para personas con baja visión:
desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

Figura 20. Tabla visualizada al 100% y vista de la misma tabla redimensionada mediante la herramienta de zoom integrada en el navegador. En el segundo caso, se pierde el contexto de los encabezados de cada fila, además de desbordar el tamaño de la ventana gráfica del navegador, imposibilitando la visualización de la tabla completa. Fuente: Elaboración propia.

The Legend of Zelda main series

Year	Platform	Title	Sales (millions \$)
1986	Nintendo Entertainment System	The Legend of Zelda	7.37
1987	Nintendo Entertainment System	Zelda II: The Adventure of Link	5.04
1992	Super Nintendo	The Legend of Zelda: A Link to the Past	7.43
1993	Game Boy	The Legend of Zelda: Link's Awakening	10.62
1998	Nintendo 64	The Legend of Zelda: Ocarina of Time	13.82
2000	Nintendo 64	The Legend of Zelda: Majora's Mask	6.64
2003	Nintendo Game Cube	The Legend of Zelda: The Wind Waker	6.76
2006	Nintendo Wii	The Legend of Zelda: Twilight Princess	9.98
2003	Nintendo Switch	The Legend of Zelda: Breath of the Wild	21.43

1986	Nintendo Entertainment System	The Legend of Zelda	
1987	Nintendo Entertainment System	Zelda II: The Adventure of Link	
		The	

Figura 21. Versión adaptada a dispositivos móviles de la tabla anterior, la cual mediante reglas *media query* permite dejar de mostrar la fila de encabezado en la versión móvil, para mostrar esos mismos valores junto a sus respectivas celdas de datos. En este caso, la tabla no desborda en ningún momento el ancho de la pantalla. Fuente: Elaboración propia.

Platform: Nintendo Entertainment System
Title: The Legend of Zelda
Sales (millions \$): 7.37
Year: 1987
Platform: Nintendo Entertainment System
Title: Zelda II: The Adventure of Link

Las tablas pueden utilizarse para organizar y dar acceso a grandes cantidades de datos de forma eficiente y eficaz. No obstante, el acceso a su contenido puede implicar importantes barreras para las personas con discapacidad visual (Yesilada *et al.*, 2004). Las tablas de datos son una estructura multidimensional compleja de carácter visual en las que incluso siguiendo buenas prácticas en su implementación (Eggert; Abou-Zahra, 2019) la semántica involucrada da como resultado una síntesis de texto a voz que puede resultar pobre y ambigua (Spiliotopoulos *et al.*, 2010), especialmente cuando se trata de tablas muy grandes y complejas (con múltiples filas y columnas o incluso con diferentes niveles de encabezados). Es por esta razón que, aún bien implementadas, el acceso a su contenido puede ser complicado por parte de los usuarios de lectores de pantalla.

Transformar una estructura visual a auditiva, en la que la mayor parte del significado semántico de su contenido está implícito en la estructura visual, implica definir detalladamente todas y cada una de las relaciones que se establecen entre sus elementos. Para alcanzar este propósito, el estándar HTML cuenta con diversos elementos y atributos específicos.

- Elementos
 - . **<table>**: define una tabla en HTML.
 - . **<caption>**: funciona como encabezado de la tabla. Facilita a los usuarios de lectores de pantalla la navegación entre tablas, localizar la tabla que precisan, así como comprender cuál es su contenido y decidir si quieren leerla.
 - . **<thead>**: permite agrupar las celdas que forman la cabecera de la tabla.
 - . **<tbody>**: permite agrupar las celdas que forman el cuerpo principal de la tabla.
 - . **<tfoot>**: permite agrupar las celdas que forman el pie de la tabla.
 - . **<colgroup>**: permite agrupar una o más columnas de la tabla.
 - . **<col>**: permite especificar propiedades de las columnas dentro de un **<colgroup>**.
 - . **<tr>**: una fila dentro de la tabla.
 - . **<th>**: una celda que contiene un encabezado.
 - . **<td>**: una celda de datos.
- Atributos
 - . **summary**: permite informar acerca de la organización de los datos en la tabla, ayudando a los usuarios a navegar a través de ella.
 - . **id**: identificador unívoco del elemento.
 - . **scope**: indica el ámbito de aplicación (fila o columna) de una celda que funciona como encabezado.
 - . **headers**: permite identificar para cada celda, una o más celdas de encabezado relacionadas con ella.

A continuación, se muestra un ejemplo de tabla (tabla 3) y el código HTML necesario para implementarla de manera accesible.

Tabla 3. Tabla y código fuente accesibles.⁹

Country	2016	2017	2018
Denmark	53.514,54	51.288,77	51.299,75
Spain	342.728,96	357,364,10	352.208,55
United Kingdom	516.325,11	507.693,67	498.745,77
Total	912.568,61	916.346,54	902.254,07

```

<table summary="Column one has the countries; other columns show the greenhouse
gas emissions">
  <caption>Greenhouse gas emissions by country (Source of data: European
Environment Agency)</caption>
  <thead>
    <tr>
      <th id="country" scope="col">Country</th>
      <th id="2016" scope="col">2016</th>
      <th id="2017" scope="col">2017</th>
      <th id="2018" scope="col">2018</th>
    </tr>
  </thead>
  <tbody>
    <tr>
      <th headers="country" id="de" scope="row">Denmark</th>
      <td headers="de 2016">53.514,54</td>
      <td headers="de 2017">51.288,77</td>
      <td headers="de 2018">51.299.75</td>
    </tr>
    <tr>
      <th headers="country" id="es" scope="row">Spain</th>
      <td headers="es 2016">342.728,96</td>
      <td headers="es 2017">357,364,10</td>
      <td headers="es 2018">352.208,55</td>
    </tr>
    <tr>
      <th headers="country" id="uk" scope="row">United Kingdom</th>
      <td headers="uk 2016">516.325,11</td>
      <td headers="uk 2017">507.693,67</td>
      <td headers="uk 2018">498.745,77</td>
    </tr>
  </tbody>
  <tfoot>
    <tr>
      <th id="sum" scope="row">Total</th>
      <td headers="2016">912.568,61</td>
      <td headers="2017">916.346,54</td>
      <td headers="2018">902.254,07</td>
    </tr>
  </tfoot>
</table>

```

⁹ Fuente de los datos Eurostat. Disponible en:

https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_air_gge/default/table?lang=en.

La naturaleza multidimensional de las tablas desafía la linealidad propia de la verbalización del contenido a través de lectores de pantalla (Yesilada *et al.*, 2004), obligando a los usuarios a recordar la secuencia de las columnas y asociar los valores a sus correspondientes encabezados. Con el objetivo de minimizar esta barrera, diversos autores han propuesto soluciones alternativas complementarias a la semántica ofrecida por el estándar HTML para mejorar el acceso de las personas con discapacidad a los datos tabulares.

Pontelli *et al.* (2002) describen un sistema para habilitar a los usuarios en la navegación y exploración de estructuras HTML complejas. Por su parte, Filepp *et al.* (2002) proponen TTPML (Table To Prose Markup Language)¹⁰ un lenguaje de marcado compatible con XML que facilita la generación de descripciones verbalizadas de datos tabulares, que puede ser procesado tanto en el lado del cliente, como del servidor. Yesilada *et al.* (2004) introducen un navegador específico denominado EVITA (Enabling Visually Impaired Table Access) que busca asemejar la interacción de las personas usuarias de lectores de pantalla con una tabla, a la de las personas videntes. Para ello, ofrece mecanismos avanzados de navegación e interpretación de los datos que contiene la tabla. Finalmente, Spiliotopoulos *et al.* (2009) aportan un método para mejorar la verbalización de los datos por parte del lector de pantallas a través del análisis prosódico de descripciones de tablas verbalizadas por personas que, en pruebas realizadas con usuarios, mostró una mejora de entre el 14% y el 20% en la comprensión.

Color y contraste

Si bien el **color** se utiliza eficazmente como sistema de codificación de información en nuestro entorno (Kremers; Baraas; Marshall, 2016), la pobre discriminación de los colores en el caso de las personas con tricromatismo anómalo y la imposibilidad para diferenciar ciertas combinaciones de colores propia de las personas con dicromatopsia, pone de manifiesto la necesidad de evitar el uso del color como canal exclusivo a través del cual transmitir información.

Esta recomendación se encuentra recogida en las WCAG (criterio de conformidad 1.4.1 uso del color) y concuerda con los principios del diseño universal. No obstante, conociendo los defectos en la percepción del color es posible saber qué colores suponen un problema para cada uno de estos perfiles de usuario, pudiendo confundirlos por su **tono** (nombre), con el objetivo de generar paletas de colores cuya **diferencia en la luminancia** o brillo sea suficiente para permitirles distinguirlos (Sanchís; Pons, 2020). Esta solución implica no tener que renunciar a propuestas cromáticas para la interfaz que, por otro lado, pueden aportar beneficios al resto de usuarios con o sin discapacidad en la consecución de determinadas tareas relacionadas con los gráficos estadísticos (Albers *et al.*, 2014; Adnan, 2016), tales como realizar juicios estadísticos sobre grandes

¹⁰ Patente disponible en: <https://patents.google.com/patent/US7143026>.

colecciones de datos (Correll *et al.*, 2012), o lograr alcanzar una percepción más precisa de los datos (Nuñez *et al.*, 2018).

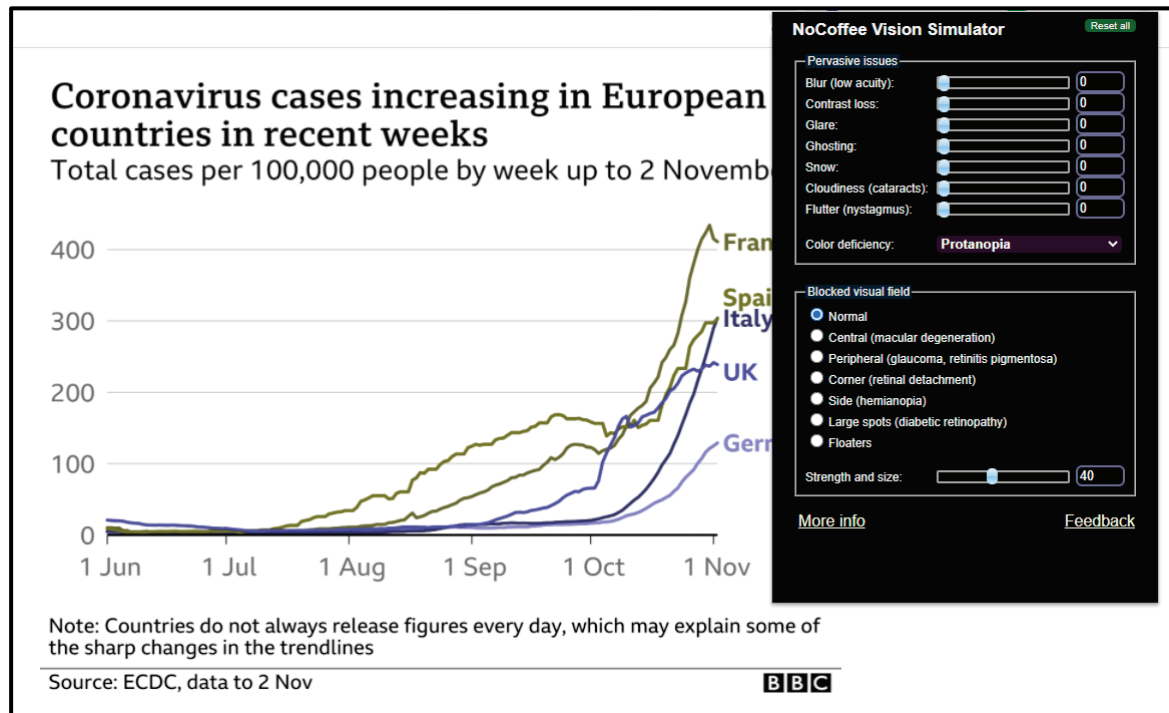
El equilibrio, por tanto, lo encontramos en el uso de paletas de colores con una **alta relación de contraste de luminancia** que permitan seguir utilizando un atributo como el color muy útil en procesos de distinción y comprensión de la información (Araújo; Reis; Bonacin, 2020), u otras técnicas como el uso de patrones o texturas para diferenciar los elementos coloreados. Por otra parte, Okabe e Ito (2008), apuestan por lo que denominan el diseño universal del color, una filosofía que se centra en seleccionar colores teniendo en cuenta las necesidades de los diferentes perfiles de VCD, pero con el objetivo de reexaminar por completo una tendencia generalizada entre diseñadores contemporáneos que tiende a aumentar el número de colores utilizados de manera innecesaria.

El **contraste** en las WCAG es precisamente una medida que diferencia el brillo entre dos colores expresado en forma de ratio que va desde 1:1 (blanco sobre blanco o peor contraste posible) a 21:1 (negro sobre blanco o mejor contraste posible) (Yang; Kim; Yi, 2007; Sandnes; Zhao, 2015). El algoritmo de evaluación del contraste utilizado por el W3C en las WCAG presenta resultados que se han demostrado positivos para un buen conjunto de usuarios con VCD (Foti; Santucci, 2009). No obstante, existen otras propuestas que además de la relación entre el contraste de los colores, también tienen en cuenta la sensación de **temperatura de color** (Young-Gun, 2006).

Un estudio de usabilidad con usuarios conducido por la UK Disability Rights Commission (2004) reveló que el uso inapropiado del color y el pobre contraste entre el contenido y el fondo de la interfaz son los principales problemas de usabilidad con los cuales se enfrentan los usuarios con baja visión. Al existir diferentes tipos de VCD, conseguir combinaciones de colores que puedan satisfacer las necesidades de todos los usuarios, a la vez que garantizar otras características como un contraste suficiente, puede ser realmente complicado, sobre todo, si deben utilizarse múltiples colores diferentes. Si bien existen herramientas que permiten a los creadores de contenido simular la visión de los usuarios con VCD (figura 22), la selección de paletas seguras puede resultar complicada (Jefferson; Harvey, 2006).

Gráficos estadísticos para personas con baja visión:
desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

Figura 22. NoCoffee Simulator es una de las herramientas más populares para la simulación en el navegador de la visión tricromática anómala y dicromática.

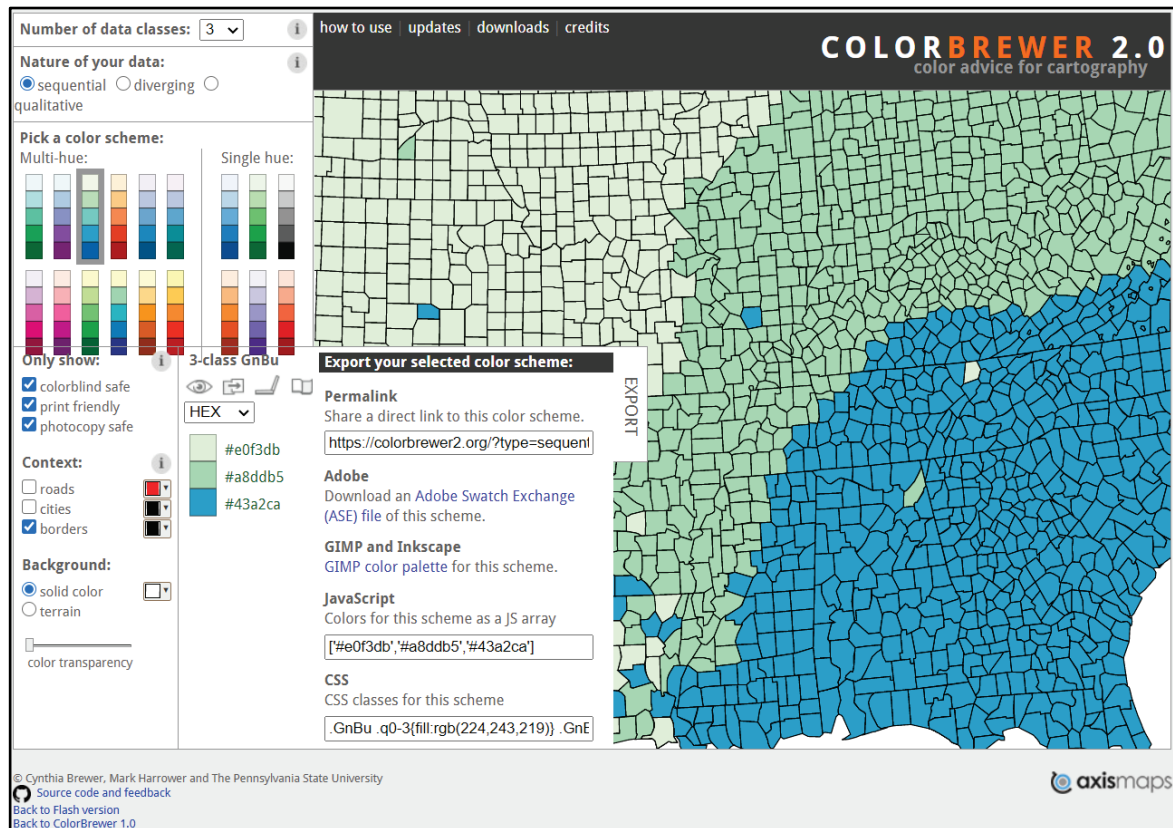


Por lo que respecta a la propuesta de **paletas de colores seguros**, destaca el trabajo de Olson y Brewer (1997; 2016) aplicado a la selección de esquemas de colores para el diseño de mapas compatibles con las necesidades de las personas con VCD. El trabajo de Brewer derivó en la creación de una herramienta específica (figura 23) que permite seleccionar diferentes esquemas de colores seguros para personas con VCD, pensados para la combinación de hasta cuatro categorías distintas (Brewer; Harrower, 2013). La misma cantidad de tonos de un color que Ware (2012) identifica cómo límite para la percepción humana y que, de alguna manera, se basan en los resultados de las investigaciones de este autor (Ware, 1988) y en sus recomendaciones de utilizar secuencias de colores monótonos que aumenten progresivamente en sus valores de luminancia. Estas combinaciones, a pesar de haberse adoptado ampliamente entre diversas herramientas y lenguajes de visualización como Tableau¹¹ o D3,¹² no cumplen con los requisitos de contraste establecidos por el W3C, más exigentes y centrados precisamente en la diferencia de luminancia.

¹¹ <https://www.tableau.com/>.

¹² <https://d3js.org/>.

Figura 23. Interfaz de la herramienta ColorBrewer 2.0 que permite seleccionar esquemas de color secuenciales, divergentes y cualitativos para su uso en mapas y otro tipo de visualizaciones. Entre sus opciones, encontramos la posibilidad de escoger esquemas aptos para personas con VCD, incluida la VCD total o acromatopsia.



La integración de combinaciones de colores seguras entre las plantillas ofrecidas por defecto en las herramientas de autor implica una gran ayuda para los autores, facilitando así la integración de la accesibilidad desde el momento mismo de la creación del contenido. En el mismo sentido, otra solución que podría ayudar a facilitar la integración de los criterios de accesibilidad en el momento de la creación del contenido, serían avisos que alerten al usuario cuando selecciona combinaciones potencialmente peligrosas (figuras 24 y 25).

Gráficos estadísticos para personas con baja visión: desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

Figura 24. Otras herramientas populares entre diseñadores como Adobe color Wheel también han incorporado recientemente validadores de accesibilidad para sus combinaciones de colores. En la imagen, se observa un aviso en relación con la posible dificultad para diferenciar los colores B y C, así como un simulador que muestra cómo determinados perfiles de usuario con VCD percibirán esos colores.

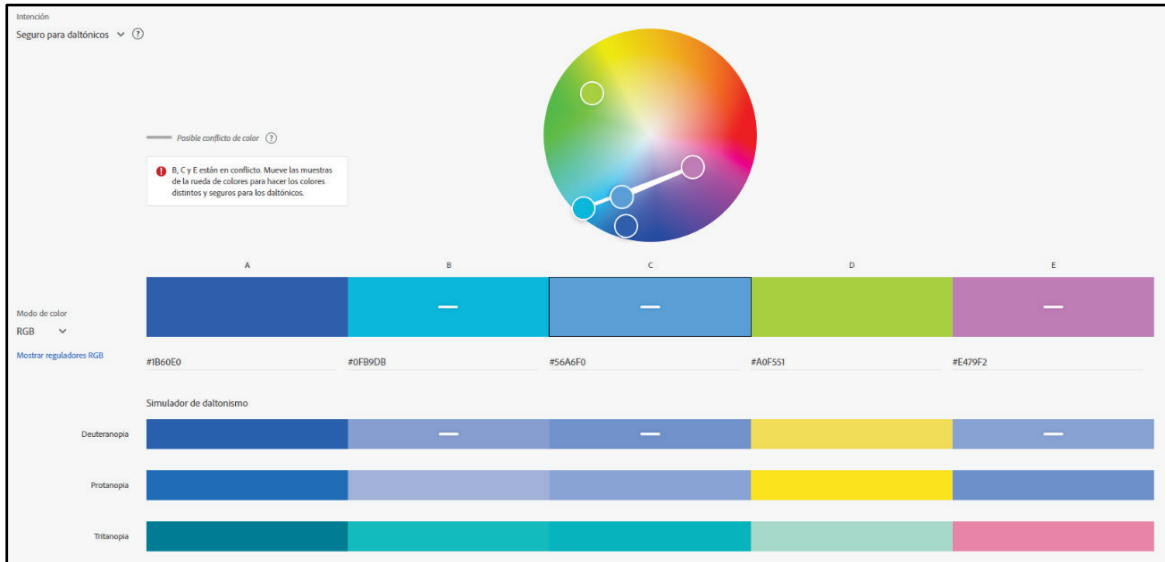
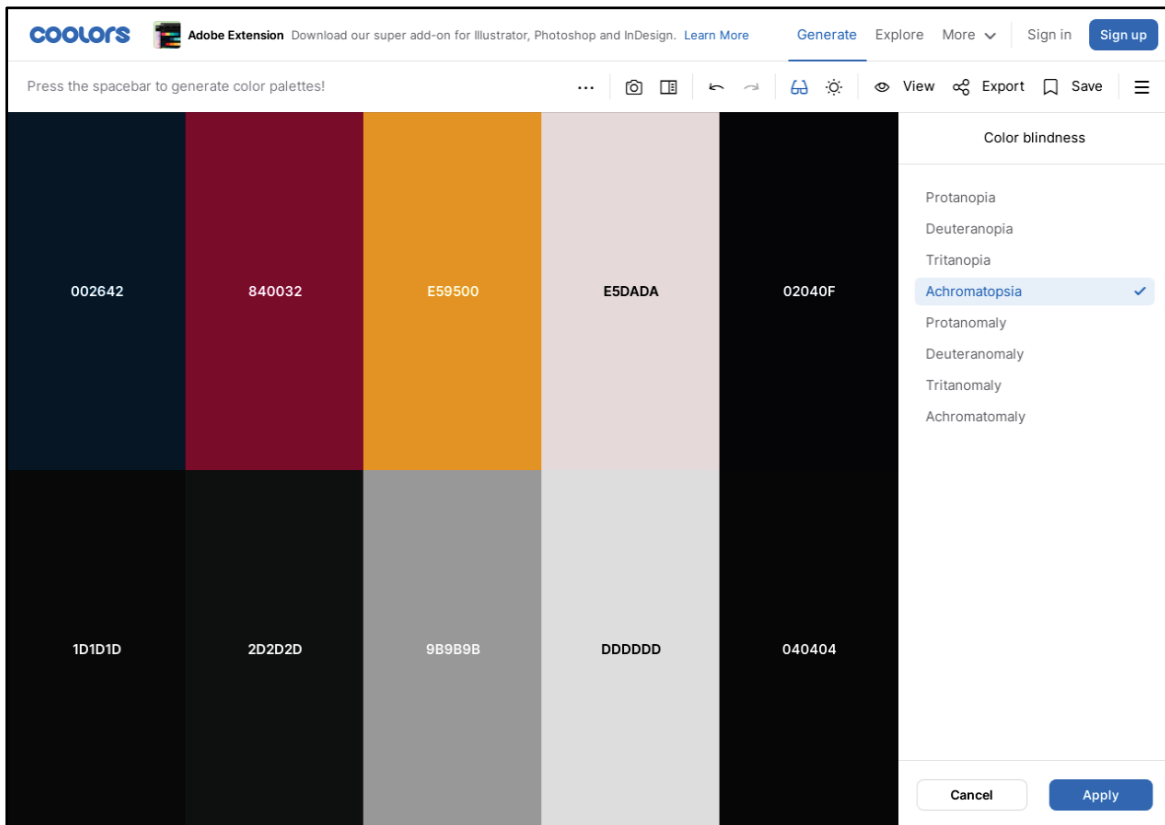


Figura 25. La herramienta Colors también ofrece un simulador de perfiles con VCD.



No obstante, existen una mayor cantidad de trabajos que se han centrado en solucionar el problema del color mediante métodos post-publicación (Song, Jaeil *et al.*, 2003; Yang *et al.*, 2004; Ichikawa *et al.*, 2003; Wakita; Shimamura, 2005; Troiano; Birtolo; Miranda, 2008). Estos métodos ajustan valores como el **tono** o la **saturación**, o se valen de diferentes algoritmos para conseguir corregir a través de la **recoloración** de los elementos, al menos parcialmente, los problemas de la VCD. Simon-Liedtke, Flatla y Bakken (2017) recopilan este conocimiento en una lista de principios y buenas prácticas en vistas a diseñar una herramienta adecuada a este propósito, no sin antes destacar que no existe una aproximación universalmente aceptada.

Para poder aprovechar el potencial del color como facilitador del proceso de comprensión, lectura, identificación y memorización en el contexto de una interfaz web, Kulpa, Teixeira y da Silva (2013) proponen un modelo de color adecuado a personas con baja visión compuesto por diferentes contrastes que hacen más eficiente la lectura, sirven mejor al propósito de identificar iconos o títulos, y son más adecuados para personas con sensibilidad a la luz, entre otros. Relacionado con la personalización de la interfaz, una característica de suma importancia para los usuarios con baja visión que abordaremos en un apartado posterior, Foti y Santucci (2009) proponen un sistema para interfaces web que permite a las personas con VCD seleccionar colores distinguibles de acuerdo con el fotorreceptor ausente.

Alternativas de texto

Como la baja visión se puede manifestar en un resto de visión muy reducido, el acceso al contenido de carácter visual a través de la Web puede ser una barrera tan grande que implique la necesidad de acceder a él a través de alternativas de texto. En este sentido, tanto las alternativas textuales cortas, como las descripciones largas se encuentran recogidas entre las técnicas suficientes del W3C para las WCAG (W3C, 2019c). El uso de una u otra depende de la complejidad de la imagen que debe describirse, intentando representar la misma información y servir al mismo propósito que el contenido no textual que describe. A continuación, se describen los diferentes tipos de alternativas de texto.

Los **textos alternativos cortos** se implementan en el contenido web a través del atributo "alt" en el elemento (W3C, 2016a). No existe ninguna referencia en la documentación del W3C acerca de la longitud máxima o recomendada para el valor de este atributo, más allá de destacar que se trata de una alternativa que debe ser breve y concisa tal y como su nombre indica. 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 (PennState, 2019), cosa que no pasa con otros lectores como NVDA, que no presentan ningún límite en su capacidad para leer un texto alternativo implementado de esta manera, sea cual sea su extensión.

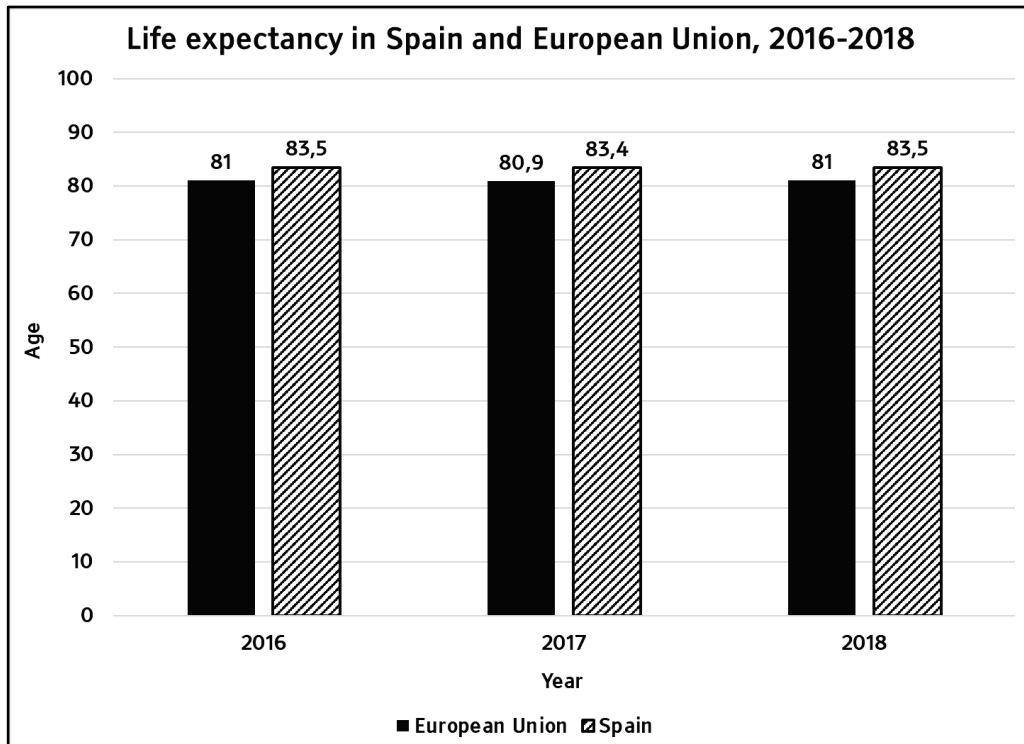
En cualquier caso, como hemos comentado, los textos alternativos cortos no están pensados para ofrecer alternativas textuales demasiado largas que, por otro parte, pueden acabar molestando al usuario. En el caso de imágenes complejas como los gráficos estadísticos, la utilidad de este atributo se limita a informar brevemente acerca del contenido o propósito del gráfico. Otro uso recomendado por el W3C (2019b) cuando la imagen a describir reviste cierta complejidad es el de permitir a los usuarios identificar este tipo de imágenes en la página e indicar, cuando sea preciso, la localización de su descripción larga.

Por su parte, las **descripciones largas** cumplen la función de ofrecer una alternativa completa y suficiente a imágenes complejas como son los gráficos estadísticos (Ault *et al.*, 2002), siendo tanto de utilidad para usuarios con discapacidad visual, como para otros perfiles que presenten dificultades para comprenderlos. En el caso de los usuarios con baja visión, este tipo de alternativas puede ser de utilidad, como comentábamos, para aquellos con una gran dificultad para percibir el contenido gráfico. No obstante, para los usuarios que todavía conservan un resto de visión, ofrecer una descripción larga como única alternativa a una imagen compleja inaccesible, limita los beneficios que aportan las imágenes por su capacidad para transmitir, aclarar y simplificar la información. Es por este motivo que deben entenderse como un complemento para la comprensión total del mensaje que transmite la imagen y no como una solución por sí mismas (Corio; Lapalmen, 1998; 1999).

Las descripciones largas se implementan a través del atributo "longdesc" en el elemento (W3C, 2016a). El valor esperado para el atributo es un hipervínculo hacia la descripción larga. Esta descripción larga se puede incluir en una página externa específica, en un fichero de texto plano descargable, o en algún punto del mismo documento (por ejemplo, a continuación de la imagen), opción esta última preferida por los usuarios de lectores de pantalla (WebAIM, 2015). A pesar de recoger este atributo como una técnica suficiente cuando una alternativa textual corta no lo es (W3C, 2016b), entre la documentación del W3C no es posible encontrar ninguna guía o directriz en relación con su redacción.

Sí encontramos algunos ejemplos (W3C, 2019b) entre los cuales, algunos aplicados a gráficos estadísticos, en los que con el objetivo de transmitir la misma información que la imagen, se proporciona también una tabla de datos equivalente. En estos ejemplos, el contenido de la descripción larga se organiza en torno a tres apartados: a) una visión general de la información o mensaje que busca transmitir el gráfico; b) los valores representados en el gráfico en forma de tabla; y c) una descripción del tipo de gráfico y convenciones utilizados. A continuación, se muestra un ejemplo de descripción larga aplicada al gráfico de la figura 26.

Figura 26. Gráfico y ejemplo de descripción larga.



Descripción larga

Visión general

El gráfico muestra la esperanza de vida en España y la Unión Europea (UE) en el periodo 2016-2018. En los tres años comparados, la esperanza de vida en España es superior a la media de la UE. Los datos se mantienen estables tanto para España, como para la UE a lo largo del periodo analizado.

Valores

Año	España	Unión Europea
2016	83,5	81,0
2017	83,4	80,9
2018	83,5	81,0

Presentación

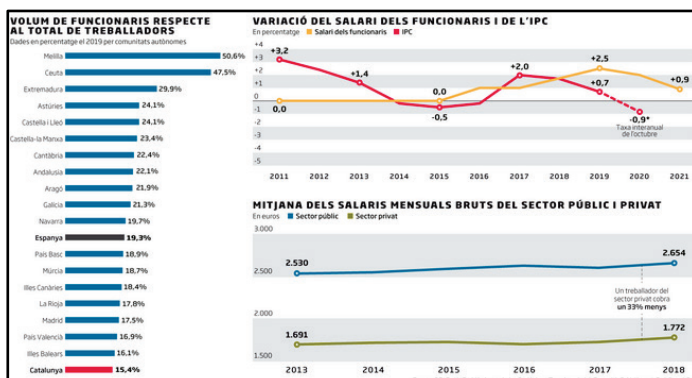
El gráfico de barras representa la esperanza de vida para cada territorio utilizando columnas alineadas verticalmente, con alturas que indican la esperanza de vida en años.

Gráficos estadísticos para personas con baja visión:
desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

Las alternativas textuales para las personas con baja visión presentan una relevancia mayor cuando se incorporan a imágenes de texto. Si bien en las WCAG el uso de imágenes de texto se limita en su criterio de conformidad más exigente al respecto (1.4.9 Imágenes de texto) a imágenes meramente decorativas y, por lo tanto, no deberían utilizarse fuera de esta excepción, lo cierto es que su uso se encuentra muy extendido en la Web.

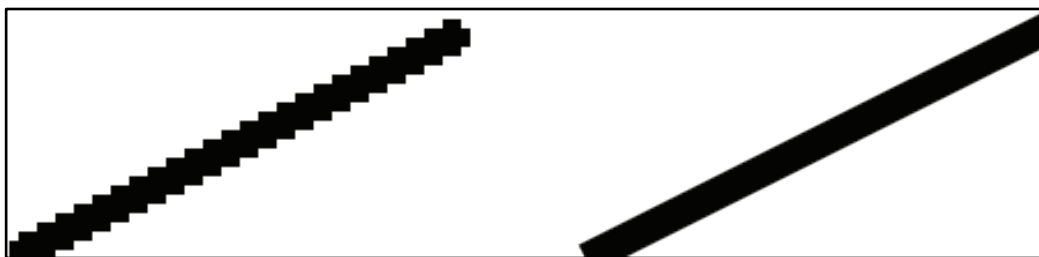
Es por esta razón que es importante prestarles atención. Este tipo de imágenes suponen una importante barrera para las personas ciegas, especialmente si el autor no proporciona una alternativa de texto equivalente, pero también lo son para los usuarios con baja visión. En este sentido, resulta imposible acceder al texto contenido dentro de las imágenes en formato de mapa de bits a través de ayudas técnicas como los lectores de pantalla. Por otro lado, cuando el usuario todavía conserva un resto de visión y utiliza un magnificador de pantalla para redimensionar el texto transmitido a través de una imagen, también puede toparse con una barrera, pues estas pueden pixelarse si no cuentan con una calidad suficiente (figuras 27 y 28), dificultando su lectura (WebAIM, 2013a).

Figura 27. Si la imagen en formato de mapa de bits no presenta una calidad suficiente, tras redimensionarla será mucho más difícil o imposible su lectura.¹³



¹³ Fuente: *Diari Ara*. https://www.ara.cat/economia/cinc-funcionaris-cobra-mes-euros_0_2555744444.html.

Figura 28. Si la imagen no presenta una calidad suficiente, al redimensionarse, la línea de un gráfico creado en formato de mapa de bits puede ser percibida por una persona con baja visión con ondulaciones o incluso como un conjunto de múltiples líneas (izquierda).



Diversos autores y organizaciones han estudiado la utilidad de las alternativas textuales en el ámbito educativo. En concreto, por lo que respecta a los libros de texto de educación primaria y secundaria, los resultados del proyecto del DIAGRAM Center mostraron la suficiencia de las alternativas de texto en la mayoría de los casos, como vehículo para transmitir la misma información que su equivalente gráfico. No obstante, en determinadas materias como en geografía o historia, o en niveles de educación superiores –especialmente, en las áreas de las matemáticas y la ciencia–, las alternativas de texto no resultaron suficientes (Gardner, 2014; Fitzpatrick *et al.*, 2017).

El uso de imágenes de texto también es habitual para la distribución de gráficos estadísticos en la Web. Esto se debe, en parte, a las limitadas opciones de herramientas de autor como Microsoft Excel o Adobe Illustrator, para la exportación en otros formatos diferentes a los mapas de bits. Un hecho que resulta curioso pues, sin ir más lejos, las dos aplicaciones que acabamos de mencionar generan en origen este tipo de representaciones gráficas en formato vectorial.

Como alternativa a esta forma de generación de gráficos estadísticos, en la última década han venido apareciendo bibliotecas de software para la creación de gráficos estadísticos dinámicos e interactivos basados en estándares web (JavaScript, HTML, CSS...). Se trata de una alternativa altamente interesante a las imágenes de texto por diversos motivos:

- El texto que incluyen es **texto real**, procesable por las ayudas técnicas como los lectores de pantalla (Pavazza; Pap, 2012).
- Los **diferentes elementos** que forman la imagen (en el caso de los gráficos estadísticos, las barras, líneas, puntos...) **se integran en el DOM**, lo que permite acceder a ellos para **describirlos** en detalle mediante un estándar como WAI-ARIA (W3C, 2015a) (W3C, 2018b).
- Al tratarse de imágenes en formato **SVG** (Scalable Vector Graphics) es posible **ampliarlas** todo lo que se precise **sin perder calidad** (W3C, 2000b).

Gráficos estadísticos para personas con baja visión:
desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

- Admiten una **alta personalización** (Pavazza; Pap, 2012), cosa que en el caso de las imágenes de texto es imposible o altamente complicado por parte de los usuarios.
- Permiten explorar una aproximación **multimodal**, integrando no sólo texto e imagen, sino también sonido y la posibilidad de verbalizar su contenido y estructura (Sharif; Forouraghi, 2018), además de poder adaptarse de una manera relativamente fácil a una versión táctil mediante impresoras específicas (Engel et al., 2019)
- Frente a las imágenes estáticas, permiten revelar **múltiples formas de visualización** o de **filtrado de datos**, proponiendo, además, una interacción activa por parte del usuario (Young et al., 2006).

La popularización de la visualización de datos ha multiplicado la oferta disponible de software y bibliotecas basadas en la Web, así como de distintos lenguajes de programación para la generación de gráficos, infografías o mapas entre otros, que se han sumado a herramientas clásicas como los paquetes ofimáticos o el software de procesamiento de datos estadísticos. La tabla 4 muestra una selección de algunas alternativas disponibles actualmente en el mercado.

Tabla 4. Selección de algunas bibliotecas de software y aplicaciones para la generación de gráficos estadísticos basados en la Web.

Nombre	Tipo de software	URL
AnyChart	Biblioteca de JavaScript	https://www.anychart.com
CanvasJS	Biblioteca de JavaScript	https://canvasjs.com
Chart.js	Biblioteca de JavaScript	https://www.chartjs.org
Chartist.js	Biblioteca de JavaScript	https://gionkunz.github.io/chartist-js/
Data-Driven Documents (D3)	Biblioteca de JavaScript	https://d3js.org/
Microsoft Excel	Software de escritorio / aplicación web	https://www.microsoft.com/en-us/microsoft-365/excel
Fizzcharts	Aplicación web	https://fizz.studio/
Flourish	Aplicación web	https://flourish.studio
Google Charts	Biblioteca de JavaScript	https://developers.google.com/chart
Highcharts	Biblioteca de JavaScript	https://www.highcharts.com/

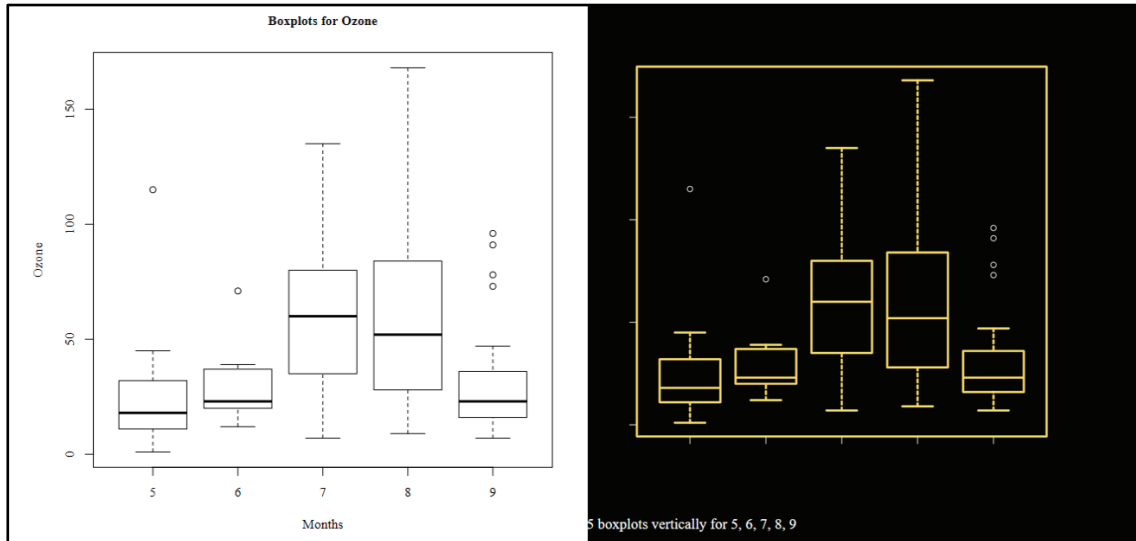
Nombre	Tipo de software	URL
evoGraphs	Biblioteca de JavaScript	http://evoxlabs.org/projects/evographs
P5.js	Biblioteca de JavaScript	https://p5js.org/libraries/
Recharts	Biblioteca de JavaScript	http://recharts.org
Semiotic	Biblioteca de JavaScript	https://semiotic.neract.io
Tableau	Aplicación web y de escritorio	https://www.tableau.com/
Tabulae	Aplicación web	http://www.triarilabs.com/en/tabulae
Yahoo User Interface (YUI) Charts module	Biblioteca de JavaScript	https://yuilibrary.com/yui/docs/charts/
ZingChart	Biblioteca de JavaScript	https://www.zingchart.com/

Entre las soluciones recogidas en la tabla 4 destacan, por su incorporación de características de accesibilidad como la compatibilidad con lectores de pantalla o interfaces de teclado, entre otras, las bibliotecas de JavaScript Highcharts y evoGraphs (Sharif; Forouraghi, 2018), así como el software Fizzcharts.

En el ámbito académico destaca el trabajo de Progressive Accessibility Solutions,¹⁴ responsables de la creación de una biblioteca de JavaScript que inyecta en el lado del cliente (DOM) una versión del gráfico o diagrama en formato SVG accesible (figura 29). El punto fuerte de esta solución es su capacidad para reconocer automáticamente diagramas en imágenes en formato de mapa de bits que, posteriormente, se tratan en el lado del servidor enriqueciéndose con información semántica y haciéndose compatibles con las ayudas técnicas a partir de una estructura navegacional jerárquica que permite recorrer cada uno de sus elementos (Sorge, 2016).

¹⁴ <https://progressiveaccess.com/>.

Figura 29. Diagrama de cajas y bigotes implementado con la tecnología de Progressive Accessibility Solutions. En la parte izquierda, se muestra la vista inicial del gráfico. En la derecha, el mismo gráfico con contraste invertido y subtítulos que ofrecen información textual acerca de su contenido.



Una buena parte de estas alternativas dinámicas basadas en la Web utilizan el estándar WAI-ARIA para enriquecer la descripción de los elementos que forman los gráficos. **WAI-ARIA** (WAI - Accessible Rich Internet Applications) es una especificación del W3C que proporciona una ontología de roles, estados y propiedades que se pueden utilizar para mejorar la accesibilidad de los contenidos y aplicaciones web enriquecidas (RIA).

De acuerdo con este estándar, los **roles** definen la función de un elemento en la interfaz; las **propiedades** permiten extender la capacidad semántica del estándar HTML aportando información adicional sobre el elemento descrito que no tiende a cambiar durante el ciclo de vida de la aplicación; finalmente, los **estados** definen la condición actual de un elemento. Además, mediante WAI-ARIA también podemos identificar **regiones o landmarks**, que están pensadas para permitir a los usuarios de ayudas técnicas como los lectores de pantalla, navegar entre ellas rápidamente.

Un gráfico es, al fin y al cabo, en sí mismo, un tipo de documento con su propia estructura, regiones y componentes. Para mejorar su accesibilidad, el W3C publicó un módulo específico para WAI-ARIA orientado a gráficos de diversa índole, en los cuales sus características visuales se utilizan como medio para transmitir información (W3C, 2018b). El estándar define tres roles específicos para caracterizar cualquier tipo de gráfico:

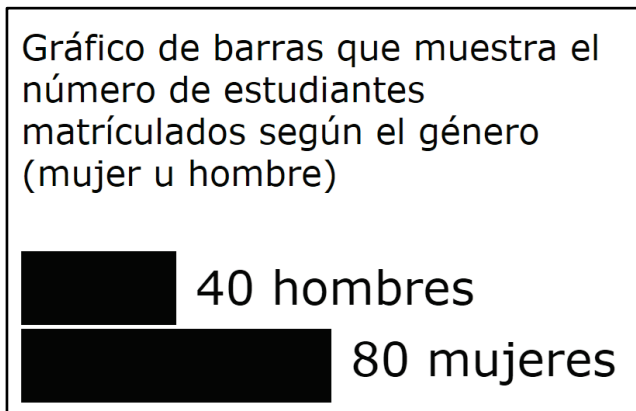
- **graphics-document**: cualquier documento que utiliza su apariencia visual para transmitir información. En el caso que nos ocupa, en una página web con diferentes gráficos estadísticos, a cada uno de ellos le correspondería este rol en su elemento raíz.
- **graphics-object**: una sección de un gráfico que representa a un objeto o subcomponente independiente con significado semántico propio. Se utiliza para definir objetos que a su vez pueden contener otros objetos. Por ejemplo, un eje de categorías que contiene las etiquetas de las diferentes categorías representadas.
- **graphics-symbol**: un objeto gráfico utilizado para transmitir un significado simple. En el contexto de un gráfico, cualquiera de sus marcas (barras, puntos, líneas...).

En cuanto a las propiedades y estados, el módulo gráfico de WAI-ARIA hereda otras propiedades de este estándar que pueden utilizarse para añadir información textual alternativa y complementaria a la que el propio estándar SVG permite aportar mediante elementos nativos como `<text>` o `<title>`. Algunos ejemplos aplicables a gráficos estadísticos son:

- **aria-label**: para indicar, por ejemplo, el valor numérico asociado a una marca.
- **aria-labelledby**: similar al anterior y útil cuando, por ejemplo, varios componentes comparten la misma descripción o etiqueta.
- **aria-roledescription**: permite aportar un nivel de especificidad superior al rol del elemento, indicando una descripción más concreta del rol. Por ejemplo, para indicar que un elemento con el rol "**graphics-symbol**" es una barra o una línea.
- Etc.

A continuación, se muestra un ejemplo de código aplicado a un gráfico de barras equivalente al que se muestra en la figura 30.

Figura 30. Gráfico estadístico en formato SVG resultante del código anterior. Fuente: Elaboración propia.



```
<figure>
  <figcaption>Gráfico de barras que muestra el número de
  estudiantes matriculados según el género
  (mujer u hombre)</figcaption>

  <svg version="1.1" xmlns=http://www.w3.org/2000/svg
  xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink" aria-labelledby="title"
  role="graphics-document document">

    <title id="title">Estudiantes matriculados según
    el género</title>

    <g>
      <rect role="graphics-symbol" aria-roledescription="bar"
      aria-label="40" tabindex="0" width="40" height="19">
      </rect>
      <text x="45" y="9.5" dy=".35em">40 hombres</text>
    </g>
    <g>
      <rect role="graphics-symbol" aria-roledescription="bar"
      aria-label="80" tabindex="0" width="80" height="19"
      y="20">
      </rect>
      <text x="85" y="28" dy=".35em">80 mujeres</text>
    </g>
  </svg>
</figure>
```

Frente a los textos alternativos o las descripciones largas comentadas anteriormente, las posibilidades de WAI-ARIA aplicadas a los gráficos estadísticos permiten a los usuarios de lectores de pantalla navegar por las marcas del gráfico, accediendo a través de cada una de ellas a sus valores u otras propiedades. Se trata de dos aproximaciones complementarias que pueden ser más o menos útiles según el tipo de gráfico y la cantidad de información que comunica, el perfil de usuario o la situación.

A diferencia del texto disponible en la página, el contenido que se transmite al usuario a través del estándar WAI-ARIA se encuentra en el código fuente, no se ve a simple vista, y está fuertemente mediatizado por las ayudas técnicas –por ejemplo, los lectores de pantalla–, dependiendo también de su compatibilidad con otros agentes de usuario como los navegadores web. En este sentido, hoy en día ningún navegador proporciona un soporte total a este estándar (Cooper; Henry, 2016). Este soporte parcial, implica la imposibilidad de confiar exclusivamente a WAI-ARIA la responsabilidad de transmitir al usuario la información sobre la estructura y el contenido de un gráfico.

Personalización

Vista la heterogeneidad que caracteriza al colectivo de usuarios con baja visión, contrastada también en otros estudios como el de Moreno *et al.* (2018), podemos afirmar que **no existe una solución universal** para solventar todas las barreras de accesibilidad asociadas a este perfil de usuario. En este sentido, la posibilidad de adaptar o **personalizar la interfaz** a las necesidades particulares de cada usuario se antoja como una de las aproximaciones más inclusivas para solventar las barreras anteriormente descritas. La parte positiva es que la tecnología bajo la cual se sustenta el mundo digital proporciona diversos métodos que permiten múltiples personalizaciones orientadas a satisfacer necesidades específicas o preferencias concretas, además de ofrecer experiencias multimodales no aplicables en el mundo impreso (Foasberg, 2014).

Existen diferentes opciones en el lado del cliente para personalizar el contenido web. Desde opciones integradas en los propios navegadores mediante las cuales es posible sobrescribir las hojas de estilo de un sitio web para modificar el tipo de fuente, el tamaño o los esquemas de colores, hasta extensiones para los navegadores que permiten modificar ciertas características de la interfaz. Entre estas últimas destaca la ATbar (figura 31).¹⁵ Tanto unas como otras, requieren por parte del usuario ciertos conocimientos para configurar su navegador, una tarea que puede no ser obvia para usuarios no expertos o menos familiarizados con estos procesos (Kuppusamy; Leena; Gnanasekaran, 2012). En otros casos, es el propio sitio web quien proporciona opciones integradas en su interfaz que permiten personalizar ciertos aspectos, bien a través de desarrollos propios, como en el caso de las herramientas del proyecto Fluid¹⁶ del

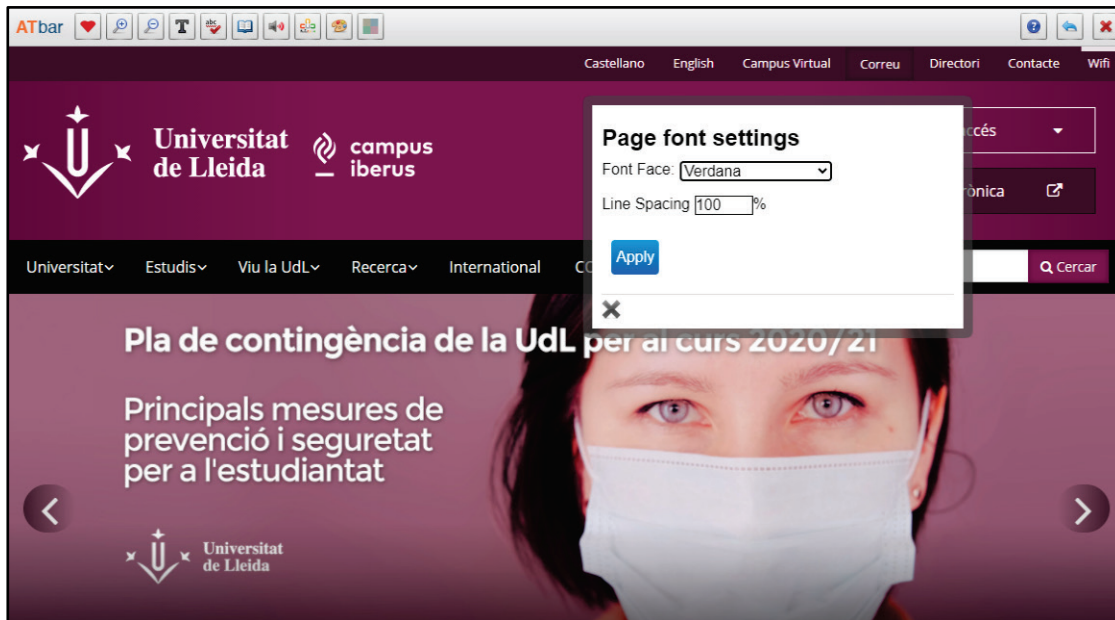
¹⁵ <https://www.atbar.org/>.

¹⁶ <https://fluidproject.org/>.

Gráficos estadísticos para personas con baja visión:
desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

Inclusive Design Research Centre de Canadá, o bien mediante la incorporación de terceras bibliotecas de software como la AdaToolbar,¹⁷ entre otras.

Figura 31. Ejemplo de uso de ATbar para la personalización de la fuente tipográfica y el interlineado de la página de inicio de la Universitat de Lleida.



La literatura recoge diferentes aproximaciones y soluciones técnicas encaminadas a ofrecer opciones de personalización para las personas con baja visión. Una buena parte de ellas se centra en la personalización de algunos aspectos básicos pero determinantes como el tamaño del texto, la selección de la fuente tipográfica, o las combinaciones de colores, entre otros.

Algunos ejemplos son los de Kuppusamy, Leena y Gnanasekaran (2012) que proponen un sistema que permite reemplazar automáticamente el estilo visual de una página web mediante modificaciones en la interfaz que siguen las directrices del Royal National Institute of Blind (2007). Por su parte Bergel *et al.* (2005) introducen un prototipo orientado a complementar la información de la página con ayudas visuales y auditivas, permitir el redimensionado del texto y alternar el contraste por defecto, por uno invertido. El de Mirri, Prandi y Salomoni (2013) aborda el redimensionado del texto, la selección de la fuente tipográfica y su estilo, la alineación e interlineado, ratios de luminancia, modificación de la paleta de colores, traducción del contenido y desarrollo de acrónimos, además de querer incorporar en un futuro la posibilidad de guardar perfiles con el objetivo de favorecer la sincronización entre dispositivos.

En este último sentido, el IMS Global Learning Consortium se ha centrado en la posibilidad de guardar preferencias personales para obtener una presentación

¹⁷ <https://adatoolbar.com/>.

personalizada del contenido a través de su vocabulario de metadatos IMS Accessibility for Learner Information Package (LIP) (IMS Global Learning Consortium, 2003). Estos metadatos se orientan a la descripción de objetos de aprendizaje accesibles, permitiendo especificar su tipología y relaciones con otras formas equivalentes o alternativas de ese contenido, con el objetivo de identificar aquellos recursos de aprendizaje que coinciden con las necesidades o preferencias declaradas por cada usuario, expresadas en su propio perfil (Boni *et al.*, 2006).

Las soluciones orientadas a permitir a los usuarios personalizar ciertos aspectos de la interfaz pueden resolver la tensión generada entre lo estético y lo accesible cuando diseñadores gráficos y expertos en accesibilidad priorizan cada uno de ellos uno de estos dos aspectos (Schmidt *et al.*, 2003), dejando en manos del usuario decidir cuál debe predominar en la interfaz para lograr una interacción más satisfactoria.

También es importante destacar que, aún en el caso de que se dé únicamente una de las barreras anteriores (tamaño de texto insuficiente, bajo contraste, pobre interlineado...), esta única barrera puede perjudicar gravemente la capacidad para acceder al contenido de las personas con baja visión, hasta el punto de perder la capacidad para leer pasajes de texto extensos (Dick, 2006). La tabla 5 muestra un resumen de las barreras y soluciones descritas en este apartado.

Tabla 5. Principales barreras para los usuarios con baja visión en la Web y soluciones habituales.

Barreras	Soluciones
Tamaño insuficiente del texto y de los elementos y componentes de la interfaz.	Definir un tamaño de fuente mínimo de 16px. Permitir al usuario redimensionar el texto.
Fuente tipográfica poco legible.	Evitar el uso de fuentes de fantasía y decorativas. Seleccionar fuentes con suficiente diferencia entre caracteres, cuerpo, ancho y grandes blancos internos y ojales. Limitar el número de fuentes diferentes en el mismo documento. Evitar el uso de variantes <i>light</i> o <i>thin</i> . Evitar el uso de negritas, cursivas y versalitas electrónicas. Definir un espacio adecuado entre letras y palabras

Gráficos estadísticos para personas con baja visión:
desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

Barreras	Soluciones
Textos justificados.	Evitar la justificación de los párrafos.
Anchos de línea excesivos.	Definir anchos de línea de entre 60-70 caracteres en textos a una columna, o 40-50 caracteres en textos multicolumna.
Silabificación al final de línea.	Evitar la silabificación al final de línea.
Abuso de mayúsculas, cursivas y negritas.	Limitar el uso de mayúsculas, cursivas y versalitas.
Pobre espacio entre letras, palabras, líneas y columnas.	Definir interlineados de entre 1,5 y 2 veces el espacio entre palabras.
Composición multicolumna.	Definir composiciones del texto a una columna. Evitar composiciones de página complejas.
Contraste entre texto y fondo insuficiente.	Seleccionar colores de texto y fondo con una ratio de contraste mínima de 4.5:1.
Contraste entre colores adyacentes insuficiente.	Seleccionar colores con una ratio de contraste mínima de 3:1.
Redimensionado ineficiente.	Evitar la superposición de elementos al redimensionar la interfaz.
Tablas sin bordes y límites sólidos y que no se adaptan a diferentes tamaños de pantalla.	Utilizar bordes sólidos en las celdas de las tablas. Utilizar diseños responsivos o adaptativos para ofrecer diferentes versiones de la tabla adaptadas a distintos tamaños de pantalla.
Desplazamiento (<i>scroll</i>) horizontal	Utilizar unidades de medida relativas como porcentajes para ajustar los elementos a diferentes tamaños de pantalla y niveles de zoom. Evitar el <i>scroll</i> horizontal incluso tras redimensionar el tamaño de los elementos de la página.

Barreras	Soluciones
Uso del color como único medio para transmitir información.	Utilizar alternativas al color como medio para transmitir información.
Inexistencia de alternativas de texto al contenido no textual.	<p>Proporcionar textos alternativos breves para el contenido no textual.</p> <p>Proporcionar descripciones largas para el contenido no textual complejo.</p>
Uso de imágenes de texto.	<p>Limitar o no utilizar imágenes de texto.</p> <p>Ofrecer imágenes con una calidad suficiente para soportar ampliaciones sin perder calidad.</p> <p>Ofrecer alternativas de texto que representen la misma información y sirvan al mismo propósito que el contenido no textual que describen.</p>
Dificultad o imposibilidad para personalizar los estilos de la interfaz.	<p>Proporcionar mecanismos para personalizar estilos de la interfaz.</p> <p>Ofrecer alternativas personalizadas en base a las preferencias declaradas por el usuario.</p>

1.2.3. Estrategias, preferencias y ayudas técnicas

Como se ha podido observar en el apartado anterior, el perfil de usuario con baja visión presenta una gran heterogeneidad que implica grandes diferencias en las capacidades entre dos personas pertenecientes al mismo colectivo, así como en las estrategias, preferencias y ayudas técnicas (lectores de pantalla, magnificadores, opciones de contraste, etc.) utilizadas para acceder al contenido disponible en la Web (Vigo; Harper, 2013; Hallet *et al*, 2015).

Si bien el colectivo de personas con baja visión comparte ciertas características con las personas ciegas, sus estrategias y preferencias al acceder al contenido difieren respecto a las de este colectivo (Jacko *et al.*, 2000). Otra característica propia de este colectivo es que muchos no utilizan ninguna ayuda técnica específica, sino que implementan sus propias soluciones a partir de preferencias personales como son el uso de monitores con baja resolución, en los cuales los elementos de la interfaz se muestran más grandes, aproximarse tanto como necesiten a la pantalla –una estrategia que a la larga puede derivar en dolores de espalda o cervicales si no se

utilizan soportes extensibles para tal propósito-, o configurar las aplicaciones de software para gozar de fuentes de mayor tamaño o con mejor contraste (Bigham, 2014). El uso de una u otra ayuda técnica también condiciona en gran medida las estrategias utilizadas por este perfil de usuario (Jacko *et al.*, 2000).

Entre las ayudas técnicas utilizadas por el colectivo de personas con baja visión destacan los **magnificadores de pantalla** (Xiao; Xu; Lu, 2010). Se trata de un tipo de software que permite ampliar una porción del área de la pantalla, facilitándoles así ver el contenido. Entre los productos más extendidos encontramos ZoomText,¹⁸ MAGic¹⁹ y la Lupa integrada en el sistema operativo Windows. En la actualidad, herramientas como ZoomText, o la misma Lupa de Windows, incorporan funcionalidades adicionales con el objetivo de satisfacer las necesidades de un rango más amplio de usuarios con baja visión. Entre estas funcionalidades destacan: modos de alto contraste, contraste invertido, suavizado de bordes, o funciones propias de lectores de pantalla.

Si bien los magnificadores de pantalla son ayudas técnicas fundamentales para los usuarios con baja visión, diversos estudios (Goble; Harper; Stevens, 2000; Xiao; Xu; Lu, 2010; Vigo; Harper, 2013; Arrue *et al.*, 2018) advierten de ciertas dificultades experimentadas por este colectivo durante su uso. Una de esas dificultades añadidas es la falta de contexto al poder sólo acceder a una parte relativamente reducida de la interfaz con la que interactúan, lo que implica, además, tener que moverse continuamente para poder abordarla por completo.

Esta falta de contexto, a la que ya nos hemos referido en el apartado anterior como una de las barreras que caracterizan la interacción de estos usuarios con las interfaces cuando utilizan un magnificador de pantalla, la recogen estudios de usuarios como los de Theofanos y Redish (2005), en los que además se destacan otros problemas derivados del uso de estas ayudas técnicas. Este es el caso, por ejemplo, de la pérdida de elementos en pantalla o espacios en blanco que de por sí son generosos y que con la ampliación se tornan enormes. Para salvar esos problemas impuestos por la ayuda técnica, los mismos autores indican que los usuarios adoptan estrategias como copiar el texto en un fichero de su procesador de textos para poder leerlo en mejores condiciones.

El problema de la falta de contexto se antoja todavía más preocupante con los dispositivos móviles con pantallas mucho más reducidas, en aquellos casos en los cuales la interfaz no se ha adaptado a la ventana gráfica del navegador (*viewport*), implicando para los usuarios la necesidad de redimensionar aún más el contenido. En otros casos, estos usuarios optan por reducir la resolución de sus pantallas, con lo cual, tanto el texto, como los elementos de la interfaz se muestran con un mayor tamaño. Sin embargo, esta personalización implica también menos elementos en pantalla y la aparición de bordes irregulares en iconos y otras imágenes (Sánchez, 2015).

¹⁸ <https://www.zoomtext.com/products/zoomtext-magnifierreader/>.

¹⁹ <https://nelowvision.com/product/magic-screen-magnification-software/>.

Otros problemas habituales con los que se encuentran los usuarios con baja visión cuando interactúan con los magnificadores de pantalla son su dificultad de uso, la cual deriva en un pobre conocimiento de algunas de sus características específicas; el hecho de olvidar un modo de interacción específico (por ejemplo, los modos para formularios o navegación del lector de pantallas integrado); o la falta de sincronización entre la lupa y el lector de pantallas (Vigo; Harper, 2013). En este sentido, a pesar de la utilidad evidente de las ayudas técnicas para garantizar el acceso al contenido web por parte de las personas con discapacidad, conviene destacar que, por sí mismas, también pueden suponer una barrera para estos usuarios, debido a la dificultad que acostumbra a entrañar su aprendizaje y uso (Ross, 2002).

Los **modos de alto contraste** permiten compensar diseños en los cuales se han escogido combinaciones de colores entre texto y fondo, o entre colores adyacentes con un contraste insuficiente. Si bien el máximo contraste posible se da entre blanco y negro, muchos usuarios con baja visión prefieren la combinación de amarillo y negro, o el contraste invertido, tal y como se ha mencionado en el apartado anterior. Aunque esta preferencia es muy variable y depende en gran medida de la situación visual de cada usuario, hasta el punto de que otros prefieren utilizar textos negros sobre fondos pastel o bronceados (Dick, 2006).

El **contraste y tamaño del cursor** por defecto de los sistemas operativos también puede suponer un problema para algunos usuarios con baja visión que llegan a perderlo de vista en la interfaz. Con el objetivo de mitigar esta barrera, algunos usuarios optan por mejorar su contraste, tamaño o forma del icono mediante las opciones del propio sistema operativo o del software de magnificación. En entornos web, es posible modificar la apariencia del cursor mediante las hojas de estilo CSS.

Los **lectores de pantalla** son una ayuda técnica consistente en un software que incorpora un sintetizador de voz que transforma en voz el texto que se muestra en pantalla. Entre las alternativas más utilizadas destaca la aplicación de software libre NVDA (Non Visual Desktop Access),²⁰ traducida a más de cincuenta idiomas, entre los cuales el español y el catalán (Alcaraz *et al.*, 2016); JAWS,²¹ lector de pantalla más popular hasta el 2017 (WebAIM, 2017) y software de referencia en organizaciones como la ONCE; VoiceOver, la alternativa integrada en el sistema operativo MacOS de Apple; y otros con menor cuota

²⁰ <https://www.nvaccess.org/download/>.

²¹ <https://www.freedomscientific.com/products/software/jaws/>.

de mercado como System Access,²² Windows-Eyes,²³ la extensión de navegador ChromeVox,²⁴ Narrator²⁵ de Windows 10, o el mismo ZoomText.

Los lectores de pantalla son la ayuda técnica más extendida entre las personas con discapacidad visual, especialmente las personas ciegas, en parte, debido a los bajos porcentajes de alfabetización en Braille (Lazar *et al.*, 2007). Si bien los lectores de pantalla son utilizados preferentemente por las personas ciegas o con muy poco resto de visión, conviene destacar que un importante porcentaje de personas con baja visión –el 39% de acuerdo con una encuesta conducida por WebAIM (2013b)–, especialmente aquellas con una baja visión severa, acceden al contenido a través de lectores de pantalla en combinación con el teclado y otras ayudas técnicas como los magnificadores de pantalla, en ocasiones en detrimento del uso del ratón.

La literatura científica ha demostrado interés por comprender las características y barreras que se producen cuando los usuarios de lectores de pantalla realizan procesos navegacionales en la Web. No obstante, la mayoría de esos trabajos se centran en personas ciegas (Lazar *et al.*, 2007; Takagi *et al.*, 2007; Borodin *et al.*, 2010), o en personas con discapacidad visual en general, sin centrarse en ningún perfil en particular (Goble; Harper; Stevens, 2000; Correani; Leporini; Paterno, 2004; Yesilada *et al.*, 2007; Lunn; Harper; Bechhofer, 2011).

Entre las limitaciones de los lectores de pantalla podemos destacar una importante dependencia del buen trabajo previo del diseñador web y del creador de contenido. En este sentido, muchos profesionales se centran en la presentación del contenido en pantalla, pero no prestan la misma atención a su estructura y semántica (Lunn; Harper; Bechhofer, 2011), lo que implica, entre otros muchos problemas, imágenes sin alternativas textuales o pobremente descritas (Borodin *et al.*, 2010), así como la ausencia de información disponible en el código fuente sobre las relaciones que se establecen entre los elementos de la página.

Por otro lado, si bien los lectores de pantalla se van adaptando constantemente a las barreras derivadas del uso de nuevas tecnologías (Flash, JavaScript, etc.), la aparición constante de nuevos estándares sin un diseño accesible desde el inicio implica siempre la imposibilidad de acceso a alguno de ellos hasta que las ayudas técnicas se adaptan a estas tecnologías (Borodin *et al.*, 2010). Otros problemas derivados del uso de los lectores de pantalla son la pérdida de contexto con respecto a la página completa, la sobrecarga informativa o la necesidad de acceder al contenido de manera secuencial

²² <http://www.serotek.com/systemaccess>.

²³ <http://www.gwmicro.com/>.

²⁴ <https://chrome.google.com/webstore/detail/chromevox-classic-extensi/kgejglhpjiefppelpmljglcjbhoiplfn?hl=es>.

²⁵ <https://support.microsoft.com/en-us/help/22798/windows-10-complete-guide-to-narrator>.

que se agrava cuando no se identifican las secciones de la página, ni se ofrecen mecanismos para saltar entre ellas (Correani; Leporini; Paterno, 2004).

La manera de interactuar con el contenido de las personas con baja visión usuarias de magnificadores de pantalla difiere de aquellas usuarias de lectores de pantalla, así como también lo hace del comportamiento de aquellos que combinan el uso de ambas ayudas técnicas (Bergel *et al.*, 2005). Como comentábamos en el apartado anterior, un importante porcentaje de usuarios con baja visión todavía conserva un resto de visión suficiente para llevar a cabo numerosas tareas (Carvalho *et al.*, 1992), entre las cuales visualizar gráficos estadísticos, ya sea simplemente ampliándolos, o gracias al soporte de ayudas técnicas como los magnificadores de pantalla. En este sentido, las personas con baja visión prefieren usar ese resto visual en su día a día (Szpiro *et al.*, 2016) tanto como sea posible (Borodin *et al.*, 2010), incluso aunque implique para ellos tener que ajustar continuamente múltiples aspectos de la interfaz (Szpiro *et al.*, 2016) o adoptar posturas incómodas o forzadas frente al monitor.

La persona ciega o con baja visión severa usuaria de lector de pantallas navega por las páginas y accede al contenido de una manera totalmente distinta a la del usuario de otro tipo de ayudas técnicas. Mientras que aquellos que todavía conservan un resto visual exploran la página y toman decisiones en base a la organización visual del contenido, limitaciones severas en la vista impiden analizar la totalidad de la página con la misma inmediatez. Frente a contenidos organizados jerárquicamente o al uso de zonas destacadas visualmente para atraer la atención hacia los elementos más importantes de la página, para el usuario de lector de pantalla el contenido es lineal y basado en texto. Es por ello por lo que la compaginación o el diseño gráfico ni ayudan, ni dificultan de manera inherente el acceso de este colectivo a la información, sino que simplemente resultan irrelevantes. Son otros factores, como el orden por programación, una sintaxis correcta o la posibilidad de saltar bloques de información, los que realmente suponen una óptima experiencia de usuario para este colectivo.

En relación con esos factores, el comportamiento del usuario de lector de pantallas se caracteriza por saltar rápidamente y de manera secuencial a través de los contenidos de la página, escuchando sólo las primeras palabras de cada encabezado o etiqueta. En menor medida, dejan de lado la secuencia propia del contenido para navegar a través de los enlaces y encabezados detectados por el lector de pantalla, recorriendo la página de esta manera de una forma más estructurada (Theofanos; Redish, 2003).

A medida que el resto visual es menor, los usuarios de lectores de pantalla afrontan el acceso al contenido mediante una mayor variedad de estrategias: la lectura solamente de los encabezados para decidir cuál de los bloques de contenido es útil para resolver su necesidad de información o tarea; la consulta secuencial de los enlaces disponibles; incrementar la velocidad del sintetizador, entre otras (Power *et al.*, 2013). Esta variedad de estrategias puede incrementarse aún más cuando realizan tareas específicas como puede ser rellenar un formulario (Borodin *et al.*, 2010).

Gráficos estadísticos para personas con baja visión:
desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

Por otra parte, según la encuesta de WebAIM (2018) a usuarios con baja visión, el teclado es utilizado siempre o habitualmente por el 60,4% de las personas encuestadas como periférico para navegar por las páginas web. Es por este motivo, que la accesibilidad a través de esta interfaz resulta imprescindible también para garantizar el acceso de las personas con baja visión a la Web.

Finalmente, y como conclusión a este apartado, también es importante tener en cuenta que las soluciones planteadas por los desarrolladores o las mismas estrategias implementadas por los usuarios también pueden generar nuevas barreras. Un ejemplo claro lo encontramos cuando un usuario con baja agudeza visual redimensiona el tamaño del texto de una página para poder leerlo mejor. Una estrategia que, por otro lado, está reduciendo su campo de visión al dejar fuera de la página y, por tanto, de su alcance, una cantidad considerable de información.

1.3 Visualización de la información

Como en el caso del concepto de accesibilidad, existen diferentes aproximaciones y puntos de vista a la hora de definir qué entendemos por **visualización de la información**. Esto se debe, en gran medida, al hecho de ser una disciplina que ha emergido desde diversas áreas del conocimiento como la IPO, la informática, el diseño o la psicología (Kim *et al.*, 2016).

Card *et al.* (1999, p. 7) definen la visualización de la información como “el uso de representaciones visuales interactivas y asistidas por ordenador de datos abstractos para amplificar la cognición [humana]”. En un sentido parecido, para Thomas y Cook (2005), el objetivo de la visualización de la información es el de transmitir a la audiencia ideas poco claras y abstractas de una manera visualmente intuitiva y efectiva, de modo que se propicie la adquisición de nuevo conocimiento. Para Catarci y Cruz (1996) es una subdisciplina en el ámbito de la IPO que se centra en los mecanismos visuales diseñados para comunicar al usuario con claridad la estructura de la información, así como para mejorar la eficiencia en el acceso a grandes repositorios de datos.

A partir de los conceptos clave asociados a las definiciones anteriores, podemos proponer la siguiente definición de visualización de la información: disciplina centrada en el estudio de las diferentes formas de representación gráfica de datos abstractos complejos a través de visualizaciones generadas por ordenador, con el objetivo de facilitar, a través del proceso cognitivo humano, su análisis, relación, comprensión, además de la obtención de nuevo conocimiento.

Este apartado recoge algunas aportaciones en la literatura de interés para comprender el proceso de percepción y comprensión gráfica, sitúa en el contexto de la visualización de la información a las técnicas de visualización de datos, entre las cuales destacan los gráficos estadísticos, de los cuales se proporciona una

caracterización y resumen de sus elementos fundamentales. Finalmente, se sintetiza y relaciona el proceso de creación de una visualización de datos con los procesos de percepción, cognición y comprensión humanos.

1.3.1. La percepción y comprensión gráfica

De acuerdo con el primer principio de las WCAG (W3C, 2018a), la información y los componentes de la interfaz de usuario se deben presentar de manera que las personas los puedan percibir. El proceso de **percepción** se inicia en el globo ocular, encargado de recibir el estímulo físico (luz) y de transformarlo en un estímulo eléctrico que se propaga a través del nervio óptico a las diferentes áreas del cerebro encargadas de su análisis (Sanchís; Pons, 2020). Como parte del sistema cognitivo humano, la percepción es el proceso responsable de organizar, identificar e interpretar la información de carácter sensorial en vistas a su posterior comprensión y representación (Schacter *et al.*, 2011). Los **sentidos** son los mecanismos fisiológicos que proporcionan a la percepción la información necesaria para su funcionamiento (Duthel, 2015).

Para Cleveland y McGill (1984), la percepción gráfica denota la capacidad de los usuarios para interpretar codificaciones visuales como la posición, longitud, forma o color y, así, descodificar la información que contienen los gráficos. En un estadio posterior, la **comprensión**, aplicada a la lectura de gráficos estadísticos, se corresponde con “las habilidades de los lectores para interpretar el significado de gráficos creados por terceros o por ellos mismos” (Friel; Curcio; Bright, 2001). Es por ello, que la percepción supone una condición necesaria para la comprensión de un gráfico.

Los gráficos estadísticos y, por extensión, cualquier tipo de visualización de la información, se caracterizan por su marcado carácter visual. Esto es el uso de formas, tamaños y la utilización de manera preferente del color como medio para transmitir información. Cuando determinadas características sensoriales como las que acabamos de enumerar se utilizan como único medio para transmitir información, aquellas personas que no son capaces de percibirlos ven limitado o imposibilitado el acceso a ese contenido. Este es el caso de todas aquellas personas que presentan algún tipo de discapacidad visual como la ceguera, la baja visión o la VCD.

1.3.2. Visualización de datos

No existe un consenso claro en la literatura acerca de la relación entre los conceptos de visualización de la información y visualización de datos. Para Kim *et al.* (2016), la diferencia entre una y otra se basa en el tipo de datos que las ocupan. En este sentido, mientras que la visualización de la información se centra en datos abstractos o no espaciales, la visualización de datos lo hace en datos numéricos o estadísticos.

Otra diferencia detectada por los mismos autores a través del estudio de la literatura publicada, son las áreas de interés entre los investigadores de uno y otro ámbito. La investigación en visualización de la información aborda aspectos relacionados con la interactividad y la cognición humana, mientras que, en la investigación en visualización de datos, destaca el desarrollo y mejora de las técnicas de procesamiento de datos. No obstante, ambas comparten ciertos intereses y temas comunes como el uso de técnicas computacionales o algoritmos.

Ware (2012) define la visualización de datos como la representación gráfica de datos o conceptos, que tiene como resultado una imagen mental o un artefacto externo que ayuda a la toma de decisiones.

1.3.3. Gráficos estadísticos: caracterización y componentes

Un **gráfico** es una representación gráfica de datos de diversa índole para la cual se utilizan diferentes tipos de símbolos (Jensen; Andersen, 1992) las propiedades de los cuales varían de acuerdo con los datos que representan (Cairo, 2019). El uso de estos símbolos da lugar a diferentes tipos de gráficos como los gráficos de barras, de puntos y líneas, circulares, histogramas o de dispersión, entre otros. El objetivo final de un gráfico es el de facilitar la comprensión de los datos que se pretenden comunicar. En el ámbito periodístico –también en otros como el educativo o el científico– encontramos las **infografías**, definidas por Cairo (2008) como una “presentación diagramática de datos, [...], para facilitar su comprensión”. Mediante esta técnica de comunicación gráfica es posible comunicar mensajes relativamente complejos con la menor cantidad de texto posible. Las infografías combinan el uso de texto con gráficos estadísticos, pictogramas e incluso elementos interactivos.

Engelhardt (2002) define el amplio concepto de gráfico como “un artefacto visible en una superficie más o menos plana, creado para expresar información”. En un sentido parecido, Splendiani (2015) se refiere al concepto de **diagrama** como “una representación visual en dos dimensiones que representa datos o información de una forma simplificada y estructurada de acuerdo con alguna técnica de visualización”. Un concepto dentro del cual incluye tanto a los gráficos estadísticos, como a otros tipos de “ilustraciones esquemáticas” cuyo objetivo es representar datos, conceptos, construcciones, relaciones o ideas con el objetivo de explicar un tema. Los gráficos estadísticos son, por lo tanto, para este autor, un tipo de diagrama diseñado para la representación de datos numéricos y las relaciones que se establecen entre ellos.

Para Wilkinson (2005), son colecciones de objetos cuya especificación, entendida como la traducción de las acciones del usuario en un lenguaje formal, se expresan bajo seis declaraciones diferentes: datos, transformaciones (por ejemplo, el rango), escalas, coordenadas, elementos (por ejemplo, puntos, líneas, así como los atributos estéticos como el color o la forma, que los definen) y guías (ejes, leyendas, etc.).

Relacionado con el uso de diferentes símbolos y, en concreto, con la relación que se establece entre el significado atribuido a éstos y el sistema de percepción utilizado para acceder a la información del objeto, Bertin (1983) define a los gráficos como sistemas monosémicos y visuales. Monosémicos ya que sus símbolos o elementos tienen un significado fijado de antemano y único, representado, por ejemplo, en la leyenda del gráfico, y sin el cual el gráfico no puede ser comprendido; visuales, porque se valen de la percepción óptica para representar las relaciones que se establecen entre tres variables: la variación visual y las dimensiones del plano.

Las dimensiones del plano determinan la posición del elemento en el gráfico. Los elementos conceptuales que utilizan los gráficos se limitan a tres figuras elementales: puntos, líneas y áreas. Elementos a los que Bertin (1983) engloba bajo el concepto de “marca”. A su vez, cada uno de estos elementos pueden variar respecto a lo que Bertin denomina “variables visuales”.²⁶ En total, siete atributos visuales con los que el autor del gráfico cuenta para su creación: posición, tamaño, forma, valor, color, orientación y textura, siendo más o menos adecuados cada uno de ellos según el tipo de información o variable que representan: numérica, ordinal o nominal (Bertin, 1983; MacEachren, 1995). La forma, la orientación, el color y la textura no cambian la percepción de los signos de los diferentes valores que presenta una misma variable, mientras que el valor y el tamaño provocan una percepción sesgada de las variables nominales (Millán, 2014). Posteriormente, otros autores han extendido la clasificación propuesta por Bertin, con atributos como la longitud, el volumen y el ángulo (Cleveland, 1985); la saturación, el tono, la densidad y la conexión (Mackinlay, 1986); la saturación, foco y transparencia (MacEachren, 1992), entre otros.

Algunas de estas variables visuales han sido identificadas por investigadores en el área de la psicología perceptiva como atributos **preatentivos** (Callaghan, 1989). Si atendemos a los diferentes estadios del procesamiento de la información postulados por Crowder (1982), el proceso de la percepción visual comienza con la captación de imágenes en la retina (procesamiento sensorio-visual), la cual se combina con información procedente de la memoria del individuo para poder identificar el objeto. Durante la fase de análisis sensorial, también es posible diferenciar diferentes etapas (Treisman, 1985): la etapa preatentiva, en la que se identifican ciertas formas primitivas (color, movimiento, orientación...); la etapa concentrada en la que se combinan todas esas formas primitivas; hasta llegar a una primera percepción del objeto previa a la comparación con la memoria. De esta manera, los atributos preatentivos son procesables por la memoria visual de manera inconsciente en las primeras etapas de la percepción, lo que los hace extremadamente útiles en la visualización de datos.

Ware (2012) identifica como atributos preatentivos al color, la forma, el movimiento, y el posicionamiento espacial. Por su parte, Healey y Enns (2012) reúnen en su trabajo un mayor número de atributos preatentivos entre los cuales se encuentra la orientación, la

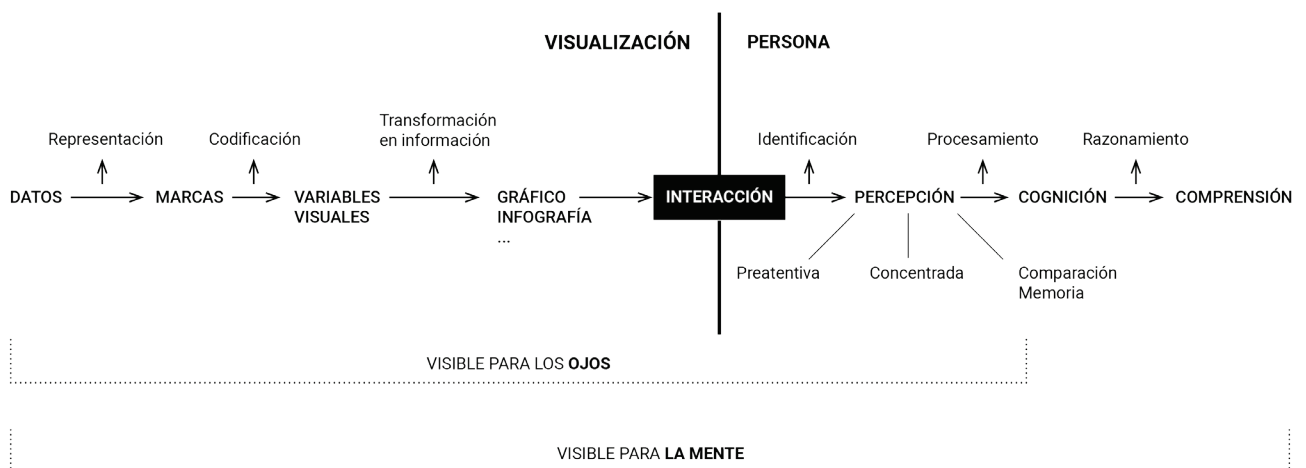
²⁶ En ocasiones traducido como “atributos visuales”.

Gráficos estadísticos para personas con baja visión:
desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

longitud, el cierre, el tamaño, la curvatura, el tono, la luminancia, el parpadeo o la velocidad y dirección de movimiento, entre otros.

De esta manera y, a modo de síntesis, el proceso de creación de una visualización de datos parte de un tipo de dato concreto a representar (nominal, ordinal, cuantitativo...) que se muestra mediante un símbolo o marca (línea, punto...) y se caracteriza mediante una o más variables visuales (posición, tamaño, color, forma...), dando lugar a un tipo concreto de representación gráfica. En el otro lado, las personas utilizamos nuestra capacidad de procesamiento perceptivo para percibir el objeto, procesarlo de acuerdo con nuestras capacidades cognitivas y, en una fase posterior, comprenderlo. La figura 32, elaborada y ampliada a partir del diagrama de Chen y Floridi (2013), muestra una síntesis del proceso de interacción entre la visualización entendida como una forma asistida por ordenador para ver información en los datos y los procesos de percepción, procesamiento cognitivo y comprensión de la información.

Figura 32. Interacción Persona-Visualización.



Las **tablas de datos** –a las que ya nos hemos referido en el apartado 1.2.2. Barreras y soluciones habituales– son otra forma de visualización de datos estrechamente relacionada con los gráficos estadísticos, útil en determinados contextos. Si bien no son una forma de visualización adecuada para acercar al usuario a una vista general del tema descrito, sí que juegan un papel complementario e imprescindible en procesos como, por ejemplo, el de identificación de un dato específico de los representados en el gráfico (Wright y Fox, 1970; Cairo, 2019). En general, las tablas de datos son útiles para los siguientes propósitos:

- Mostrar con precisión datos individuales.
- Comparar pequeños conjuntos de datos entre sí
- Como complemento a la visualización con el objetivo de dar acceso a una vista detallada de los datos.

También resultan de extrema importancia para algunos perfiles de discapacidad visual, por ejemplo, las personas ciegas, ya que se trata de una alternativa en forma de texto a partir de la cual pueden explorar –no sin dificultades– los datos que muestra la figura.

Como acabamos de mencionar, si bien una tabla de datos estructurada puede resultar una alternativa suficiente en algunos casos para las personas ciegas e incluso para usuarios con baja visión severa, no presenta la misma capacidad para mostrar de una manera eficiente tendencias o comparativas entre variables. Esto implica además un mayor uso de la **memoria a corto plazo** y una **superior carga cognitiva** cuando se busca obtener respuestas o conclusiones a partir de datos tabulados. El uso de descripciones largas o resúmenes pueden también suponer una barrera similar en este sentido.

1.4 Justificación

La importante prevalencia de usuarios con baja visión, no sólo entre el colectivo de personas con discapacidad visual, sino también en relación con el total de la población, es motivo suficiente para justificar la necesidad de investigar sobre las barreras de accesibilidad y necesidades específicas de este colectivo. A esto, debemos sumar la importancia de garantizar la accesibilidad de los gráficos estadísticos en un contexto como el actual, caracterizado por el protagonismo en nuestra sociedad de disciplinas como la visualización de la información. Finalmente, cabe destacar la obligación no sólo ética, sino también legal que tanto las administraciones públicas, como ciertos actores económicos y sociales deben satisfacer en relación con los contenidos que distribuyen a través de Internet. En los siguientes apartados, se ahonda en estos tres argumentos.

1.4.1. Prevalencia de la baja visión

El metaanálisis de Bourne *et al.* (2017) estima que, de los 7330 millones de personas en el mundo en 2015, 253 millones presentan discapacidades visuales moderadas o severas (inferior a 6/18 en el test Snellen, pero mejor que 3/60 en el mismo test). De estas, 36 millones de personas son ciegas (14.23%), mientras que alrededor de 217 millones presentan baja visión moderada o severa (85.77%). Unas cifras que muestran incrementos respectivos del 17,6% y del 35,71% desde 1990.

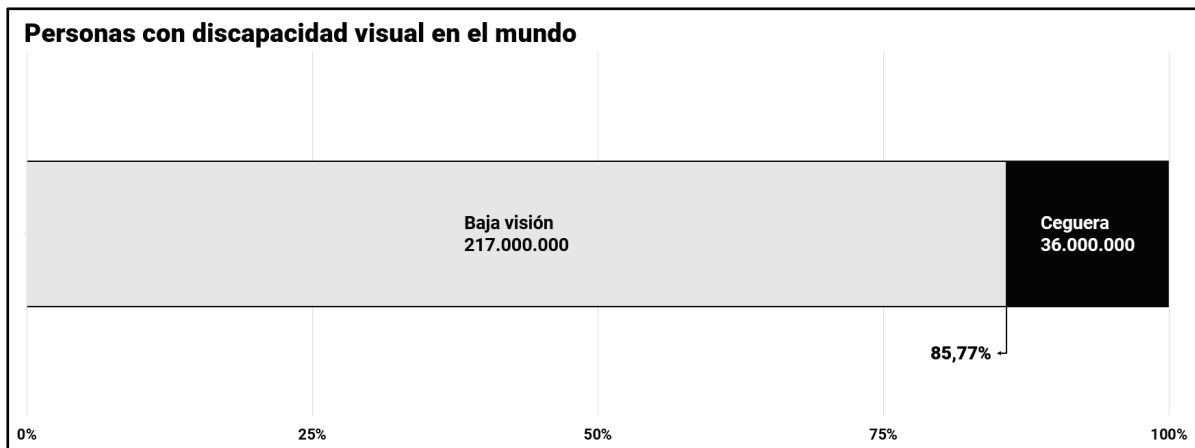
La distribución de sexos muestra una mayor prevalencia en las mujeres (56% en el caso de la ceguera y 54% para la baja visión). Una cifra que también va de la mano del aumento del envejecimiento global de la población, y que se relaciona directamente con condiciones derivadas de ésta como la presbicia –conocida también como “vista cansada”–, consistente en una pérdida gradual de la capacidad para enfocar objetos cercanos. 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

Gráficos estadísticos para personas con baja visión:
desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

o más. El mismo estudio proyecta un incremento de las personas con baja visión moderada y severa del 9,22% en 2020 (237 millones de personas) y del 171% (588 millones de personas) para 2050.

Las principales causas de discapacidad visual en el mundo están relacionadas con errores de refracción (42%) y cataratas (33%), el glaucoma (2%), la degeneración macular (1%), la retinopatía diabética (1%), el tracoma (1%) y la opacidad corneal (1%) (Bourne *et al.*, 2017).

Figura 33. Población con discapacidad visual en el mundo según tipo de discapacidad.



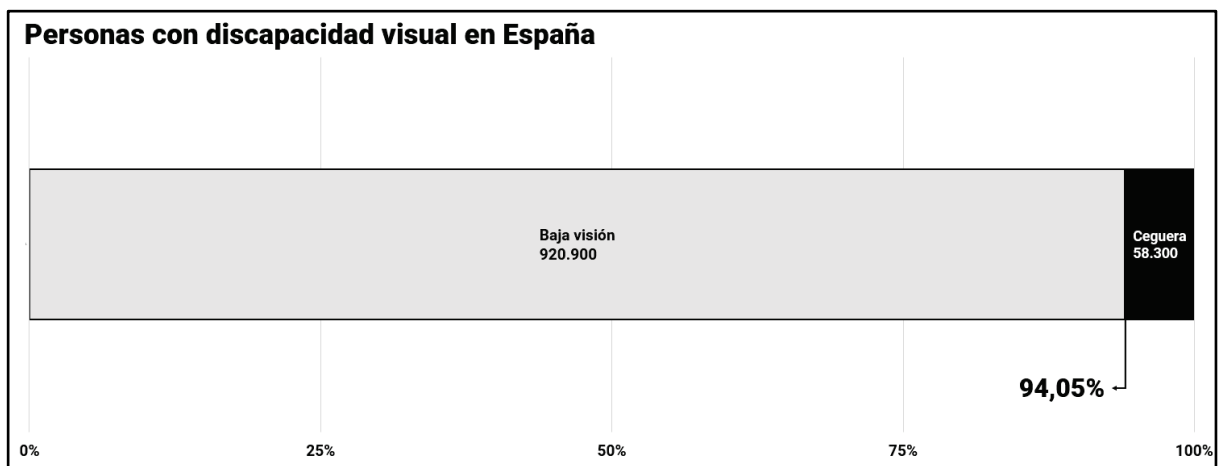
Otras discapacidades visuales como la VCD también afectan a una parte sustancial de la población mundial. La incidencia de tricromáticos anómalos es la más elevada, destacando la deuteranomalía (4,6% en hombres, 0,36% en mujeres), por encima de la protanomalía (1% en hombres, 0,03% en mujeres). Entre los dicrómatas destaca la deuteranopia (1,3% en hombre, 0,01% en mujeres), responsable de la confusión entre los colores rojo y verde, seguida por la protanopia (1% en hombres, 0,02% en mujeres) y la tritanopia (0,005% en hombres, 0,002% en mujeres). Los sujetos monocrómatas son los que presentan una menor incidencia (0,003% de la población) (Malacara, 2002). En total, afectan aproximadamente al 8% de los hombres y al 0,5% de las mujeres (Malacara, 2002; Birch, 2014), lo que supone cerca del 4,5% de la población mundial –más de trescientos millones de personas– (Colour Blindness Awareness, 2017).

En el caso de España, la *Encuesta de discapacidad, autonomía personal y situaciones de dependencia* (INE, 2008) elaborada por el Instituto Nacional de Estadística con el apoyo del Ministerio de Sanidad y Política Social, la Fundación ONCE, el Comité Español de Representantes de Personas con Discapacidad (CERMI) y la Confederación Española de Organizaciones en favor de las Personas con Discapacidad Intelectual (FEAPS), es el estudio más actualizado acerca de la situación de la discapacidad a nivel estatal de las personas a partir de seis años. Los resultados de la encuesta cifran la cantidad total de personas con alguna discapacidad visual en 979.200 personas, las cuales se agrupan bajo cuatro categorías diferentes: personas con dificultades para

llevar a cabo tareas visuales de detalle (673.600), personas con dificultades para realizar tareas visuales de conjunto (662.100), personas incapaces de percibir cualquier imagen (58.300), y personas con otros problemas de visión (357.400).²⁷

Cuatro categorías que se pueden agrupar en dos conjuntos, uno formado por las personas incapaces de percibir cualquier imagen (ceguera) y otro por el resto de las categorías (baja visión) (Gómez-Ulla; Ondantegui-Parra, 2012). De acuerdo con esta agrupación, de las 979.200 personas con algún tipo de discapacidad visual en España (2,144% de la población en 2008 según datos del INE),²⁸ 920.900 (el 94.05%) presentan baja visión.

Figura 34. Población con discapacidad visual en España según tipo de discapacidad.



A pesar de que las cifras de prevalencia tanto a nivel mundial, como nacional muestran que la baja visión afecta a un número mucho mayor de personas que la ceguera, su visibilidad en la sociedad es mucho menor a la de este otro colectivo.

La entidad de referencia para la asistencia y tratamiento de las diferentes formas de discapacidad visual en España es la Organización Nacional de Ciegos de España (ONCE). No obstante, las personas con baja visión al no ser consideradas “ciegos legales” no pueden acceder a los beneficios ofrecidos por esta organización ni ser miembros de ella. Esto deja a todas aquellas personas con baja visión que no pueden mejorar su calidad visual a través de soluciones médicas o terapias, fuera del acceso de las prestaciones de las que sí disponen otros colectivos con discapacidad. Esto implica también para estas personas una mayor dificultad para encontrar información acerca de ayudas tecnológicas, o de cualquier otro tipo.

²⁷ La suma de los cuatro grupos excede la cantidad total estimada de personas con discapacidad visual debido a que una persona puede haberse incluido en más de una de las categorías establecidas.

²⁸ Datos a 1 de enero de 2008 de población total en España según las cifras de población del INE.

En el caso de las personas con baja visión, son otras organizaciones de carácter local y con menos recursos las que velan por mejorar su calidad de vida, divulgando su problemática y ofreciendo servicios de acompañamiento, rehabilitación, jurídicos, laborales o psicológicos. La Associació Discapacitat Visual Catalunya: B1+B2+B3,²⁹ la Asociación D.O.C.E. (Discapacitados Otros Ciegos de España),³⁰ o la agrupación de asociaciones Retinosis Retina Begisare,³¹ responsable de la campaña “Tengo baja visión”,³² son algunos ejemplos representativos.

El hecho de que muchas de estas personas puedan desenvolverse con autonomía a pesar de ciertas limitaciones, sin la ayuda de bastones blancos o perros guía les hace pasar desapercibidos en el día a día. Esto ha llevado a describir la baja visión como una “**discapacidad invisible**” (Shinohara; Wobbrock, 2011). Una situación que llevó a la asociación Retinosis Retina Begisare a diseñar en 2013 el distintivo “Tengo baja visión” con el objetivo de visibilizar a las personas de este colectivo y sensibilizar al resto de la población. Con ellos se da una situación paradójica ya que al conservar un resto de visión no son tratados como ciegos, ni pueden acceder a los beneficios sociales pensados para este colectivo, a pesar de poder presentar serias dificultades a nivel visual. Todo ello conlleva una mayor exclusión frente a otros colectivos (Kulpa, Teixeira y da Silva, 2013).

Por lo que respecta al ámbito normativo y legal, directrices como las WCAG, si bien poco a poco van incorporando nuevos criterios para satisfacer las necesidades de las personas con baja visión, se han centrado históricamente en las barreras derivadas de la ceguera. En el mismo sentido, una gran parte de la investigación sobre accesibilidad web dedicada a personas con discapacidad visual se ha centrado en el caso particular de las personas ciegas, sus barreras de acceso y en descubrir nuevas soluciones para este colectivo (Moreno *et al.*, 2020).

La invisibilidad del colectivo de personas con baja visión en la sociedad, el amplio desconocimiento de sus necesidades específicas por parte de desarrolladores y autores de contenido, así como la falta de investigaciones dirigidas a mejorar la accesibilidad para este colectivo, justifican la necesidad de abordar un mayor número de investigaciones orientadas a resolver o minimizar las barreras que encuentran las personas con baja visión cuando acceden a la información y servicios digitales.

²⁹ <https://www.b1b2b3.org/>.

³⁰ <https://asociaciondoce.com/>.

³¹ <https://www.begisare.org/>.

³² <https://www.tengobajavision.com/>.

1.4.2. Aspectos legales

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**.

En el caso de España, han sido diversas las normas publicadas desde la entrada en vigor de la Constitución española (1978). Estas son la *Ley 13/1982, de 7 de abril, de integración social de los minusválidos* (1982), la *Ley 34/2002, de 11 de julio, de servicios de la sociedad de la información y de comercio electrónico* (2002), la *Ley 51/2003, de 2 diciembre, de igualdad de oportunidades, no discriminación y accesibilidad universal de las personas con discapacidad* (2003), así como diferentes reales decretos entre los que destacan los reales decreto *366/2007, de 16 de marzo, por el que se establecen las condiciones de accesibilidad y no discriminación de las personas con discapacidad en sus relaciones con la Administración General del Estado* y *1494/2007, de 12 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre las condiciones básicas para el acceso de las personas con discapacidad a las tecnologías, productos y servicios relacionados con la sociedad de la información y medios de comunicación social*.

El Decreto 1494/2007 especifica, por primera vez, el nivel de accesibilidad aplicable a los sitios web de las administraciones públicas, estableciendo como nivel mínimo las prioridades 1 y 2 de la Norma UNE 139803:2004, equivalente al 100%, desde la actualización de 2012 (España, 2012), a las WCAG 2.0. Año en el que las mismas WCAG se aprueban como estándar ISO (2012), definiendo un marco normativo internacional aún más homogéneo.

Tras el decreto de 2012, se han seguido sucediendo normas y modificaciones de leyes que apuntan en la línea de las anteriores, como la *Ley 4/2007, de 12 de abril, por la que se modifica la ley orgánica 6/2001, de 21 de diciembre, de Universidades*, que establece la obligatoriedad para las universidades de contar con espacios virtuales accesibles; la *Ley 11/2007, de 22 de junio, de acceso electrónico de los ciudadanos a los Servicios Públicos*; la *Ley 56/2007, de 28 de diciembre, de Medidas de Impulso de la Sociedad de la Información* (LISI) que amplía el alcance del Decreto 1494/2007 a empresas de "especial trascendencia económica" como entidades bancarias, aseguradoras, agencias de viajes y transportes o suministradoras de servicios de gas, agua y electricidad, entre otras; el *Real Decreto 1791/2010, de 30 de diciembre, por el que se aprueba el Estatuto del Estudiante Universitario*; la *Ley 26/2011, de 1 de agosto, de adaptación normativa a la Convención Internacional sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad*, o el *Real Decreto Legislativo 1/2013, de 29 de noviembre, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley General de derechos de las personas con discapacidad y de su inclusión social*, que integra la Ley 13/1982, 51/2003 y 49/2007 y establece un régimen de infracciones y sanciones que garantizan las condiciones básicas en materia de igualdad de oportunidades, no discriminación y accesibilidad universal de las personas con discapacidad. Todo un marco legal que persigue alcanzar y garantizar la accesibilidad

de los productos y el contenido digitales de la administración pública y otros tipos de empresas con especial trascendencia económica.

En el mismo sentido, a nivel internacional, ya se han comentado las *Directrices para la accesibilidad del contenido web*, cuya primera versión data del año 1999, revisada en dos ocasiones en los años 2008 (versión 2.0) y 2018 (versión 2.1), y con una nueva versión (2.2) cerca de publicarse. Unas directrices adoptadas por diferentes estados, entre los cuales el español, como norma legal aplicable (Norma UNE 139803:2012). Otros textos destacables son la *Convención de las Naciones Unidas sobre el derecho de las personas con discapacidad* (2006), o 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) para clarificar 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 a 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*.

Por lo que respecta al **ámbito educativo**, los gráficos estadísticos están presentes en diferentes materias en distintos niveles entre los contenidos y estándares de aprendizaje evaluables. 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.

1.4.3. La importancia de los gráficos estadísticos en la sociedad y su papel en la accesibilidad

La Web es un espacio informacional predominantemente visual en el que imágenes de toda índole y otros contenidos audiovisuales conviven con numerosos ejemplos de visualizaciones de la información como infografías o gráficos estadísticos.

Para Schepers (2019), la visualización de datos es en sí misma una ayuda técnica, un tipo de **accesibilidad cognitiva** mediante la cual podemos utilizar nuestro sistema visual para reducir el esfuerzo que supone interpretar datos tabulares. Los gráficos estadísticos

son uno de los medios de los cuales se vale la visualización de la información para representar información y datos, así como los aspectos y relaciones que se establecen entre estos. Mientras que las tablas de datos interactúan con nuestro sistema verbal, los gráficos lo hacen con el visual (Knafllic, 2015). En este sentido, los gráficos estadísticos nos permiten procesar de una manera mucho más eficiente la información.

Los gráficos juegan un papel fundamental en la **comunicación de los resultados de la investigación científica**. El espacio desproporcionado que pueden requerir los datos generados como resultado de una investigación deriva en todo tipo de textos científicos en el uso de gráficos estadísticos pensados para mostrar esa misma información de una manera mucho más sintética (Durbin, 2004) y accesible. Esto implica que estas representaciones gráficas contienen, en muchas ocasiones, un resumen de los resultados más importantes de los artículos y comunicaciones científicas (Cohen; Wang; Murphy, 2003). Adicionalmente, los gráficos estadísticos presentan un **valor comunicativo** que en ocasiones trasciende al artículo o trabajo académico en el que se publican, constituyendo valiosos recursos de conocimiento por sí mismos (Carberry; Elzer; Demir, 2006). Son, en definitiva, una forma de comunicar datos que permite ahorrar tiempo al lector, ayudar a la comprensión del artículo, así como reducir la cantidad total de palabras necesarias (Franzblau y Chung, 2012).

Son igualmente importantes en el proceso de **aprendizaje y divulgación de conceptos científicos abstractos**, los cuales están ligados a estas representaciones y a sus procesos de construcción y transformación (Arteaga *et al.*, 2010). En un sentido parecido, en el ámbito educativo, los gráficos permiten visualizar conceptos y relaciones abstractas difíciles de comprender mediante otras representaciones (Postigo y Pozo, 2000). Estos contenidos, así como otros propios de materias en las áreas de conocimiento agrupadas bajo el acrónimo STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) como, por ejemplo, fórmulas matemáticas, diagramas y otros tipos de visualizaciones, plantean todos ellos importantes retos en cuanto a su accesibilidad (Sorge, 2020). El acceso de los estudiantes con discapacidad visual a estas materias implica una complejidad adicional a la de cualquier otra área de conocimiento por el gran uso que se hace de este tipo de representaciones gráficas.

La **alfabetización de datos** implica comprender qué significan los datos, lo que incluye la habilidad para leer gráficos estadísticos, obtener conclusiones a partir de los datos, así como la capacidad para reconocer cuando los datos se utilizan de manera engañosa o inapropiada (Hunt, 2004). Por su parte, para Schield (2004), los estudiantes alfabetizados en información deben ser capaces de pensar críticamente sobre conceptos, afirmaciones y argumentos: leer, interpretar y evaluar la información. Según el mismo autor, la alfabetización de datos es un requisito para la alfabetización estadística y viceversa. Carlson y Johnston (2015) en su trabajo seminal sobre alfabetización de la información, defienden la alfabetización de datos como una habilidad clave para los investigadores del futuro.

Gráficos estadísticos para personas con baja visión:
desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

El uso de gráficos estadísticos no se limita al ámbito educativo y científico, sino que se trata de un tipo de representación de datos presente de manera generalizada en diferentes sectores clave de la sociedad. Así, en los medios de comunicación, especialmente –aunque no exclusivamente– en el denominado **periodismo de datos**, es frecuente encontrar este tipo de visualizaciones.

Adicionalmente, los gráficos son también parte importante de la **información pública**. En particular, y centrándonos en una situación muy actual y global, la crisis sanitaria derivada de la enfermedad del Covid-19, y el confinamiento total o parcial sufrido como una de las principales estrategias para frenar el avance de la enfermedad en el mundo, no ha hecho más que evidenciar la importancia de Internet como principal canal de información sobre la salud. Tanto los gobiernos nacionales, como las organizaciones relacionadas con la salud, los medios de comunicación, así como otros tipos de fuentes de información, han optado por todo tipo de visualizaciones de datos como principal estrategia para sintetizar la información de la pandemia y comunicarla a la ciudadanía. Hacer llegar a la población información veraz y actualizada sobre la crisis sanitaria puede ayudar a disminuir la propagación de la pandemia, la ansiedad asociada entre la población, además de ayudarla a comprender mejor la situación en cada momento (Cugelman; Thelwall; Dawes, 2011). Por tanto, es fundamental garantizar que todos tengan acceso a información rigurosa y fiable en igualdad de condiciones, situando la necesidad de garantizar la accesibilidad de este tipo de contenido también como una cuestión sanitaria.

Figura 35. Gráfico estadístico personalizado según el país del usuario, mostrado en los resultados de Google durante toda la crisis derivada de la enfermedad del Covid-19.



Por otro lado, el **movimiento de datos abiertos** ha supuesto la disponibilidad de grandes conjuntos de datos accesibles para la ciudadanía e indispensables no sólo para el periodismo de datos, comentado anteriormente, sino también para su uso por parte de todo tipo de empresas y por la misma administración pública a través de sus portales de transparencia. Recursos, todos ellos, que se valen de diferentes tipos de gráficos para facilitar la lectura y comprensión de los datos expuestos.

Finalmente, la **inteligencia de negocios** es también otra área en la que los gráficos estadísticos sirven para la exploración, análisis y comunicación (Cairo, 2017). Observamos también ejemplos significativos relacionados en otros ámbitos como la **publicidad** o el **ocio**. Estos son sólo algunos ejemplos de sectores clave de la sociedad que justifican la necesidad de contar con gráficos accesibles para garantizar el acceso a la información y el conocimiento de las personas con discapacidad.

1.5 Alcance y objetivos de investigación

El objetivo principal de esta tesis es **identificar buenas y malas prácticas**, así como **sistematizar elementos y características** que puedan **facilitar o dificultar el acceso** de las **personas con baja visión** a los **gráficos estadísticos**. Para hacer frente a este desafío se definieron los siguientes objetivos específicos:

- Explorar y analizar el estado actual de la accesibilidad de los gráficos estadísticos para personas con baja visión. Lo que incluye tanto los avances publicados en la literatura científica, como el nivel de accesibilidad actual de este tipo de contenido en sectores clave de la sociedad como los medios de comunicación, las revistas científicas o la información de salud, atendiendo también a la inclusión de criterios de accesibilidad en sus respectivas políticas editoriales.
- Determinar las principales barreras para este colectivo cuando accede a un gráfico estadístico, así como sus necesidades y preferencias.
- Proponer una metodología para la evaluación heurística de la accesibilidad de los gráficos estadísticos para personas con baja visión.
- Validar la propuesta anterior mediante su aplicación en la evaluación de diversos conjuntos de gráficos estadísticos.
- Proponer unas directrices para la creación de gráficos estadísticos accesibles que cubran las necesidades del colectivo de personas con baja visión.

De acuerdo con Ault *et al.* (2002), la creación de un gráfico accesible implica tener en cuenta dos aspectos fundamentales: la representación física del gráfico (forma visual) y el significado implícito (lo que intenta comunicar). En este trabajo de investigación, **nos hemos centrado en la capacidad de los usuarios para percibir el contenido de un gráfico estadístico**. Por lo tanto, la investigación se centra fundamentalmente en las barreras que una u otra representación física (forma visual) pueden imponer a los usuarios con baja visión, pero también en diferentes aspectos de su contenido que deben abordarse para asegurar su accesibilidad.

1.5.1. Aspectos fuera de alcance en este estudio

La investigación, sin embargo, no aborda otras cuestiones también sumamente importantes relacionadas con la comprensión del mensaje que un gráfico intenta transmitir, ya tratadas por otros autores en la literatura. En este sentido, existe una importante cantidad de trabajos previos publicados, centrados en investigar cuáles son las mejores representaciones gráficas de acuerdo con el mensaje o datos que se quiere transmitir.

Así, los trabajos de Cleveland (1985) y Mackinlay (1986) se centran en encontrar gráficos de acuerdo con los criterios de expresividad y eficacia, en un contexto dado y teniendo en cuenta el medio a través del cual se distribuyen y las características propias del sistema visual humano. Tukey (1977) se centra en el análisis exploratorio de los datos, mientras que Young; Valero-Mora y Friendly (2006), en la misma línea, exploran también los beneficios del uso de gráficos dinámicos manipulables por los usuarios, un tipo de visualizaciones que, frente a las imágenes estáticas, permiten revelar múltiples formas de visualización o de filtrado de datos, proponiendo, además, una interacción activa por parte del usuario.

Por su parte, Mackinlay (1986) ordena de mayor a menor eficacia un conjunto de variables visuales en función de cómo se muestran en la decodificación de datos cuantitativos, cualitativos y ordinales. Para cada una de estas categorías, también se muestran las variables cuyo uso se debe evitar por considerarse inadecuadas. Por ejemplo, la forma para datos ordinales, o la textura para datos cuantitativos, entre otras.

Doumont y Vandebroek (2002) proponen una serie de criterios para escoger un tipo de gráfico u otro en función de la estructura de las series de datos (la cantidad y tipos de variables), la finalidad (análisis, comunicación, etc.), y las preguntas de investigación o mensaje que se pretende transmitir (comparación, distribución, correlación o evolución). Más allá de estos criterios que son los que deben guiar la selección, estos autores también son conscientes de la importancia de las herramientas disponibles y del medio a través del cual se distribuirán los gráficos (impreso, digital...).

Otros autores se han centrado en el análisis de la selección de uno u otro tipo de gráfico y su influencia en la comprensión de los datos (Cleveland; McGill, 1984; Talbot; Setlur y Anand, 2014; Mihtsentu y Ware, 2015; Zubiaga y MacNamee, 2016).

Costa (1998) recoge ciertos aspectos cualitativos de un gráfico que pueden ser más o menos adecuados según la audiencia a la cual se dirija la visualización. Estas variaciones de registro se basan en el grado de abstracción frente a la iconicidad, al grado de información frente a la redundancia, al grado de inteligibilidad frente a la complejidad, y al grado de semántica frente a la estética. Siguiendo el mismo objetivo, Cairo (2011) amplía la propuesta de Costa, con su rueda de la visualización, en la que contrapone el concepto de abstracción frente al de figuración, la funcionalidad a la decoración, la densidad a la claridad, la multidimensionalidad a la unidimensionalidad, la originalidad a la familiaridad y la novedad a la redundancia.

Todas estas buenas prácticas, más o menos conocidas por los autores, pero ampliamente tratadas en la literatura como se ha comentado anteriormente, son totalmente compatibles con los resultados de la investigación recogida en esta tesis doctoral. Esta investigación supone una nueva capa de conocimiento que permitirá mejorar la accesibilidad de este contenido no sólo para las personas con baja visión, sino también para otros perfiles de usuario con discapacidad, así como para el público en general, dado que son diversos los criterios recogidos entre los resultados, que suponen beneficios para cualquier perfil de usuario con o sin discapacidad.

2. Trabajos relacionados

2.1 Literatura científica

La literatura científica se ha centrado fundamentalmente en dos aspectos bien diferenciados, pero complementarios, en cuanto al acceso al contenido de un gráfico estadístico. El primero de estos aspectos tiene que ver con el proceso de **comprensión** y la capacidad de los usuarios para alcanzar determinados niveles de lectura (Curcio, 1987; Friel; Curcio y Bright, 2001; Arteaga; Díaz-Levicoy y Batanero, 2018). En este sentido, y tal como se ha resumido en el apartado anterior, más allá de textos clásicos como los de Bertin (1967), Tufte (1983) o Cleveland (1985), otros autores como Cleveland y McGill (1984), Talbot, Setlur y Anand (2014), Mihtsentu y Ware (2015) o Zubiaga y MacNamee (2016), han estudiado el impacto de la selección de un tipo u otro de gráfico en la comprensión de los datos, o de algunos aspectos relativos a su diseño cómo pueden ser artificios que persiguen embellecer los gráficos estadísticos, en la capacidad de los usuarios para realizar diferentes tareas (Skau *et al.*, 2015).

El segundo de los aspectos cubierto por la literatura tiene que ver con la búsqueda de soluciones para asegurar la **accesibilidad de los gráficos estadísticos** para personas con discapacidad. En el caso de las personas con discapacidad visual, la literatura se ha centrado fundamentalmente en el caso particular de las personas ciegas o con un resto visual muy reducido, y no tanto en las necesidades específicas de las personas con baja visión (Moreno *et al.*, 2020). Las soluciones propuestas se centran en satisfacer las necesidades particulares de un colectivo que no puede valerse de la visión para acceder al contenido gráfico, siendo sólo en parte compatibles con las necesidades de los usuarios con baja visión que, como hemos visto en apartados anteriores, son diferentes y muy diversas incluso dentro de su propio colectivo. Fundamentalmente, encontramos cuatro aproximaciones en la literatura para lograr la accesibilidad de los gráficos estadísticos, todas ellas encaminadas a proporcionar alternativas al contenido no textual:

- La inclusión de **alternativas textuales** suficientes.
- El uso de **sonidos** para comunicar información (sonificación)
- La generación de **alternativas táctiles**.
- La implementación de **alternativas multimodales** que recogen dos o más de las aproximaciones anteriores.

Entre las publicaciones que componen esta tesis doctoral se incluye una revisión de alcance de la literatura que detalla los trabajos relacionados para cada una de estas cuatro aproximaciones (publicación 3).

En el ámbito del *big data* y la visualización de datos, Sathi y Sadhasivan (2020) exploran diversas soluciones para mejorar la accesibilidad de las personas con discapacidad visual. Por su parte, Snaprud y Velazquez (2020) proponen una metodología para la evaluación de la accesibilidad de una visualización de datos basada en las WCAG 2.1 y la metodología WCAG-EM 1.0. En el mismo sentido, Lundgard *et al.* (2019) analizan un conjunto de consideraciones sociotécnicas en el diseño de visualizaciones de datos para personas con discapacidad visual, centradas en el análisis del caso de estudio de un taller de diseño inclusivo realizado en colaboración con la Perkins School for the Blind.

En el ámbito de la publicación científica, Simon *et al.* (2019) recogen en su trabajo los problemas de accesibilidad más comunes en los gráficos y figuras de las actas publicadas por el Innovation and Technology in Computer Science Education (ITiCSE). Entre sus resultados destaca el pobre uso de pies de imagen que no describen adecuadamente la figura a la que acompañan, así como la utilización de tamaños de fuente demasiado pequeños para ser legibles.

Otros autores también se han centrado en el análisis de la calidad de las representaciones gráficas (gráficos, diagramas y tablas) en publicaciones científicas. El trabajo de Cooper *et al.* (2001) se centra en el análisis de un conjunto de ciento veintiocho gráficos de la revista *Annals of emergency medicine* con el objetivo de determinar si esas representaciones gráficas son o no autoexplicativas –es decir, si pueden ser interpretadas sin la lectura del artículo–, presentan contradicciones internas o información redundante con el texto del artículo, no adolecen de falta de claridad visual, o utilizan convenciones gráficas no estandarizadas. El resultado de su investigación muestra que, si bien entre el 60% y 70% de los gráficos analizados cumplen con los criterios evaluados, pocos aprovechan el potencial gráfico de estos recursos de información para ayudar a los lectores a comprender mejor los resultados de sus investigaciones. En un trabajo posterior (Cooper *et al.* 2002), los mismos autores redundan en resultados similares esta vez sobre un conjunto de gráficos estadísticos publicados en la *Journal of American medicine* (JAMA). Por su parte, Chen *et al.* (2016) llevan a cabo un estudio similar centrado en el análisis de la calidad de los gráficos publicados en una muestra de veinte revistas de medicina. Para determinar la calidad se tuvo en cuenta la densidad de información presente en el gráfico, cómo de completos eran los datos, la claridad visual y si mostraban un análisis univariado o multivariado. Sus resultados muestran una pobre presencia de este tipo de representaciones gráficas en los artículos analizados, presentando la gran mayoría una baja densidad de datos y representaciones de una sola variable.

En la literatura científica también encontramos un importante número de trabajos centrados en el análisis de buenas y malas prácticas en la creación de los gráficos estadísticos que acompañan a los trabajos de investigación. Si bien estas no se centran

específicamente en su accesibilidad, todas ellas aportan beneficios de los cuales también se benefician las personas con discapacidad. Franzblau y Chung (2012) clasifican las malas prácticas en dos categorías: errores de diseño y errores de contenido. Entre los errores de diseño destacan el uso de tablas demasiado grandes y complejas para poder ser abordadas por el lector, o tan simples que no son necesarias, pues su contenido se puede incluir en el texto principal del artículo. En relación con las tablas, también destacan problemas en su diseño cuando no presentan bordes sólidos y suficientemente contrastados para ayudar a diferenciar celdas y columnas. Otro error común recogido es el uso de gráficos en tres dimensiones, los cuales presentan una perspectiva sesgada, resultando en una visión distorsionada de los valores mostrados (Shelly, 1994; Schringer y Cooper, 2001). En cuanto al contenido, destacan la inclusión de datos redundantes con lo que se explica en el cuerpo del trabajo, el uso de representaciones gráficas no autoexplicativas, o la no definición de los símbolos y abreviaturas utilizadas (Currier, 1975).

Schringer y Cooper (2001) proponen un método basado en ocho pasos discretos para alcanzar la máxima calidad posible en la creación de representaciones gráficas de datos: 1) definir qué se debe comunicar; 2) determinar la mejor forma de comunicarlo (texto, tabla o gráfico); 3) determinar el objetivo principal del gráfico; 4) determinar las variables esenciales necesarias para representar los resultados de la investigación; 5) determinar si existen relaciones y representarlas si se dan; 6) seleccionar el mejor tipo de gráfico para comunicar esos datos; 7) etiquetar claramente los ejes, así como añadir cualquier otra información clave, además de desarrollar todas las abreviaturas y símbolos utilizados, y acompañarlo de una leyenda que lo haga autoexplicativo; y 8) diseñarlo meticulosamente, prescindiendo de cualquier elemento gráfico que no aporte información única y esencial.

Los trabajos previos suponen una importante aportación científica y divulgativa para dar a conocer una serie de buenas prácticas en el diseño y creación de gráficos estadísticos. No obstante, a pesar de contar con todos estos recursos, los gráficos publicados por los autores de contenido no siempre respetan estas buenas prácticas, cosa que hemos podido comprobar en algunos de los trabajos que conforman esta tesis (publicaciones 5, 6, 7 y 8).

2.2. Normas y directrices

Al margen de la literatura científica, diferentes organizaciones han propuesto soluciones orientadas a satisfacer las necesidades de los usuarios con baja visión. En la misma línea, también existen diferentes guías y directrices orientadas a asegurar la accesibilidad de los gráficos estadísticos, aunque estas últimas se orientan de manera global a los usuarios con discapacidad visual, y prestan atención fundamentalmente a las necesidades del colectivo de personas ciegas. Las directrices de referencia en este

ámbito son las *Image description guidelines* del Diagram Center (2015), una organización sin ánimo de lucro respaldada por la Oficina de Programas de Educación Especial del Departamento de Educación de los EE. UU, y centrada en la investigación y desarrollo en el ámbito de la producción de contenido digital accesible para materiales educativos, especialmente, aunque no exclusivamente, en las áreas STEM. Estas directrices recogen fundamentalmente las directrices publicadas previamente por el National Center for Accessible Media (Gould; O'Connell; Freed, 2008).

A continuación, se muestra una síntesis de los criterios de accesibilidad contemplados por las directrices del Diagram Center para los gráficos estadísticos de uso más común (gráfico de barras vertical y horizontal, de líneas, sectores y dispersión):

- Proporciona una alternativa en forma de tabla.
- Describe brevemente el gráfico.
- Proporciona un resumen del contenido del gráfico.
- Proporciona un título y etiquetas para los ejes.
- Proporciona etiquetas para los datos para ayudar así al lector a ver el número exacto que representa cada marca.
- Describe el eje de datos y el de categorías y proporciona una síntesis de la tendencia.
- Utiliza una lista en lugar de un gráfico o tabla si el gráfico muestra un conjunto de datos muy simple.
- Utiliza un vocabulario adecuado al nivel formativo / edad de la audiencia.
- Ordena los valores de menor a mayor.
- En el caso de los gráficos de dispersión, identifica la imagen como tal y describe el cambio de concentración.

Como se puede observar en la lista anterior, la propuesta del Diagram Center se orienta claramente al perfil de usuarios ciegos a través del uso, fundamentalmente, de alternativas de texto. Si bien, algunos de los criterios recogidos además de ser buenas prácticas contrastadas en la literatura, pueden también ser de utilidad para personas con baja visión, no encontramos una solución a la mayoría de las barreras con las que este colectivo se encuentra al interactuar con el contenido recogidas en el punto 1.2.2. (barreras y soluciones habituales). Un caso paradigmático es el uso del color, sobre el que las directrices se limitan a indicar que es conveniente describirlos si el gráfico se genera en el contexto de una prueba o examen, y alguna de sus preguntas hace referencia explícita a ellos. Esta aproximación deja fuera no sólo a usuarios con VCD, sino también a otros perfiles que, como hemos visto en el punto 1.2.1 (causas y caracterización de los usuarios con baja visión) pueden combinar una agudeza de visión o campo de visión limitado, con una pobre percepción del color o dificultades para distinguirlos debido a una baja sensibilidad al contraste.

Como en cualquier investigación relacionada con la accesibilidad web, las WCAG con un texto de referencia del que es imposible huir. A partir de las recomendaciones del Low Vision Accessibility Task Force (LVTF) del W3C, recogidas en los *Accessibility requirements for people with low vision* (2016), la versión 2.1 de las WCAG incorporó nuevos criterios de conformidad dirigidos a satisfacer ciertas necesidades propias de las personas con baja visión. En este sentido, más allá de los criterios aplicables a este perfil de usuario disponibles en versiones anteriores de las directrices, la versión 2.1 de las WCAG incorpora un total de diecisiete nuevos criterios de conformidad orientados específicamente a tres tipos de discapacidades/situaciones diferentes: cognitivas o de aprendizaje, baja visión y las derivadas del uso de dispositivos móviles. Algunas de estas dos últimas pueden ser especialmente relevantes para el objeto de estudio de esta tesis.

No obstante, a pesar de estos avances en las directrices orientados al perfil de baja visión, existe un consenso generalizado entre profesionales, usuarios y desarrolladores en cuanto a sus limitaciones para satisfacer todas las necesidades de los usuarios con baja visión (Moreno *et al.*, 2020). La tabla 6 recoge los criterios de conformidad de las WCAG 2.1 orientados a los usuarios con baja visión y que son aplicables para la evaluación de la accesibilidad de un gráfico estadístico.

Tabla 6. Criterios de conformidad de las WCAG orientados a usuarios con baja visión y aplicables a los gráficos estadísticos.

Criterio	Versión	Nivel de conformidad	Barreras asociadas
1.1.1 Non-text Content	2.0	A	Imposibilidad o dificultad para acceder al contenido no textual.
1.3.3 Sensory Characteristics	2.0	A	Dificultad para discriminar formas, colores y tamaños.
1.3.4 Orientation	2.1	AA	Tamaño de interfaz limitado una vez ampliado el contenido en pantallas verticales de dispositivos móviles.
1.4.1 Use of Color	2.0	A	Imposibilidad o dificultad para diferenciar ciertas combinaciones de colores.
1.4.3 Contrast (Minimum)	2.0	AA	Sensibilidad al contraste que limita o imposibilita distinguir ciertos elementos respecto al fondo.
1.4.4 Resize text	2.0	AA	Dificultad o imposibilidad para leer tamaños de texto demasiado pequeños.

Criterio	Versión	Nivel de conformidad	Barreras asociadas
1.4.5 Images of Text	2.0	AA	Imposibilidad o dificultad para acceder al contenido no textual. Pérdida de calidad en las imágenes de texto al redimensionarlas que imposibilita o dificulta su lectura.
1.4.6 Contrast (Enhanced)	2.0	AAA	Sensibilidad al contraste que limita o imposibilita distinguir ciertos elementos respecto al fondo.
1.4.8 Visual Presentation	2.0	AAA	Dificultad o imposibilidad para la lectura de textos sin el suficiente contraste, con anchos de línea demasiado largos, justificados a ambos lados, sin un interlineado suficiente o que no pueden ser redimensionados.
1.4.9 Images of Text (No Exception)	2.0	AAA	Imposibilidad o dificultad para acceder al contenido no textual. Pérdida de calidad en las imágenes de texto al redimensionarlas que imposibilita o dificulta su lectura.
1.4.10 Reflow	2.1	AA	Dificultad para acceder al contenido web en interfaces que presentan <i>scroll</i> horizontal.
1.4.11 Non-text Contrast	2.1	AA	Sensibilidad al contraste que limita o imposibilita distinguir ciertas combinaciones de colores cuando se encuentran adyacentes.
1.4.12 Text Spacing	2.1	AA	Dificultad o imposibilidad para la lectura de textos que cuando se redimensionan se solapan o desbordan los contenedores previstos.
1.4.13 Content on Hover or Focus	2.1	AA	Dificultad para gestionar <i>popups</i> o <i>tooltips</i> en combinación con el uso de magnificadores de pantalla.

Gráficos estadísticos para personas con baja visión:
desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

Criterio	Versión	Nivel de conformidad	Barreras asociadas
2.1.1 Keyboard	2.0	A	Dificultad o imposibilidad para el uso del ratón o preferencia por parte de los usuarios de acceder al contenido mediante una interfaz de teclado.
2.1.2 No Keyboard Trap	2.0	A	Dificultad o imposibilidad para el uso del ratón o preferencia por parte de los usuarios de acceder al contenido mediante una interfaz de teclado.
2.1.3 Keyboard (No Exception)	2.0	AAA	Dificultad o imposibilidad para el uso del ratón o preferencia por parte de los usuarios de acceder al contenido mediante una interfaz de teclado.
2.4.7 Focus Visible	2.0	AA	Dificultad o imposibilidad para seguir el foco del teclado cuando se navega entre los elementos de la página.
2.5.5 Target Size	2.1	AAA	Dificultad o imposibilidad para interactuar con componentes de la interfaz que presentan tamaños reducidos.
3.1.4 Abbreviations	2.0	AAA	Dificultad o imposibilidad para comprender el significado de un término. Si no se desarrollan en el mismo gráfico (pie, leyenda...) se obliga al usuario a consultar el resto de la página para encontrar esa referencia.

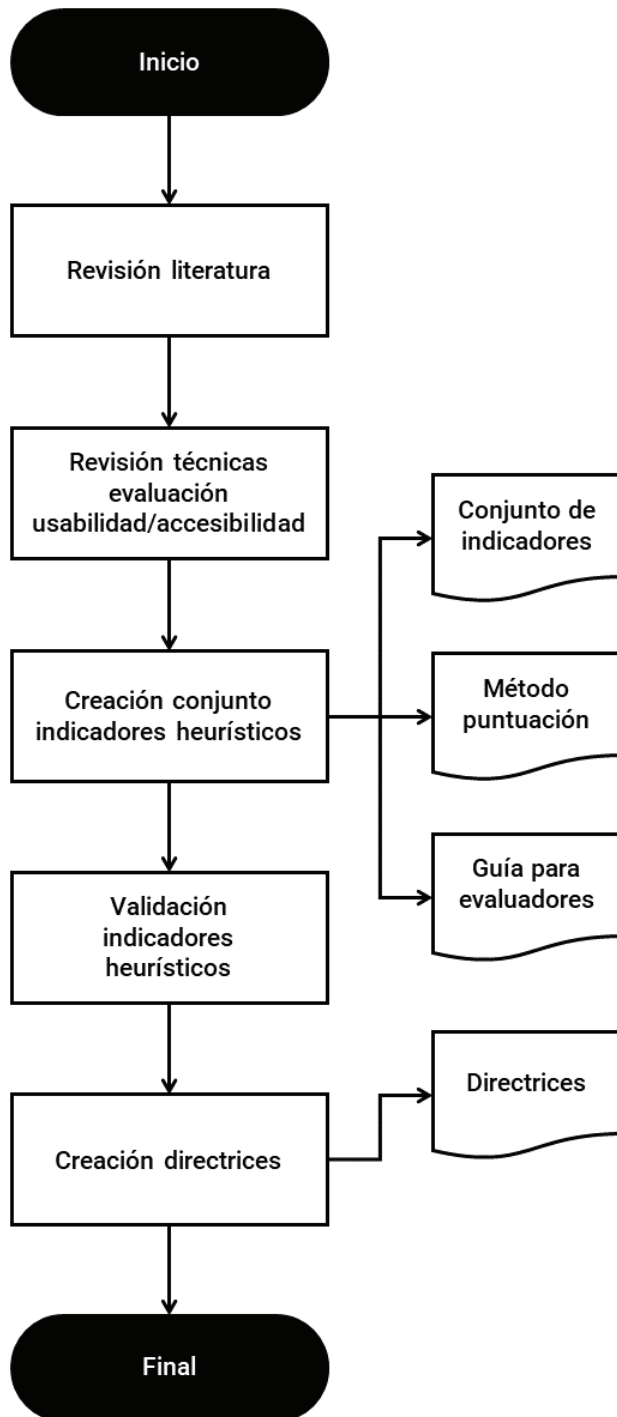
Finalmente, con un enfoque más centrado en los negocios y el marketing, pero también dirigido a los autores de contenido, Evergreen y Emery (2018) proponen una lista de verificación para asegurar la calidad de cualquier tipo de visualización de datos, centrada en una serie de principios publicados anteriormente por las mismas autoras (2013). Una *checklist* que cubre aspectos relacionados con los títulos, la alineación de los elementos, los ejes, el etiquetado de las marcas, o el uso del color, todos ellos relevantes para esta investigación. El trabajo de Evergreen y Emery ha sido rigurosamente analizado y testeado posteriormente por Sanjines (2018).

3. Metodología

La metodología seguida en este proyecto de investigación se puede resumir en las siguientes fases (figura 36):

- Revisión de la literatura publicada sobre la accesibilidad de los gráficos estadísticos para personas con discapacidad visual.
- Revisión de las técnicas de evaluación de la usabilidad/accesibilidad por indagación. Adopción por su idoneidad en esta investigación, de la técnica de la evaluación heurística.
- Consolidación de los dos puntos anteriores para la creación de una lista de indicadores heurísticos y de un método para su puntuación basado en el uso de una escala Likert y un sistema de ponderaciones. Redacción de una guía para los evaluadores.
- Validación de la lista de indicadores mediante diferentes evaluaciones heurísticas en distintos tipos de sitios web y publicaciones caracterizados por publicar gráficos estadísticos. Introducción de un protocolo para la revisión final conjunta de las puntuaciones de cada evaluador.
- Creación de una propuesta de directrices para la creación de gráficos estadísticos para personas con baja visión.

Figura 36. Diagrama de flujo de la metodología utilizada.



En el contexto de esta investigación, a partir de la metodología propuesta por Quiñones *et al.* (2018) se desarrolló una lista de indicadores heurísticos para la evaluación de la accesibilidad para personas con baja visión de gráficos estadísticos basados en la Web. La metodología utilizada se fundamenta en las siguientes ocho fases:

- **Fase exploratoria:** a partir de la necesidad de crear un conjunto de indicadores heurísticos, se recoge información acerca del dominio a estudiar, los atributos que deben ser evaluados mediante estos indicadores, y otros trabajos previos publicados (heurísticas, directrices, guías, patrones de diseño...) que hayan tratado la misma cuestión. El resultado de esta fase permite conocer mejor el dominio que se está estudiando.
- **Fase experimental:** consistente en el análisis de los resultados de experimentos previos conducidos por otros investigadores. Los resultados obtenidos permiten obtener información adicional acerca de las características específicas del dominio que se pretende evaluar, así como sobre los problemas de los conjuntos de indicadores heurísticos existentes.
- **Fase descriptiva:** cuyo objetivo es seleccionar y priorizar los aspectos más relevantes de la información recopilada en las dos fases anteriores.
- **Fase correlacional:** orientada a mapear las características del dominio a evaluar con los atributos de usabilidad/accesibilidad relacionados con ellas, así como con los indicadores heurísticos existentes.
- **Fase de selección:** en la que se revisa la lista de indicadores heurísticos obtenida hasta el momento y se decide para cada uno de ellos si se conserva, adapta o descarta.
- **Fase de especificación:** orientada a la especificación formal de cada uno de los indicadores heurísticos seleccionados en la fase anterior.
- **Fase de validación:** consistente en la realización de diferentes experimentos, con el objetivo de validar la eficiencia del conjunto de heurísticos obtenido.
- **Fase de refinamiento:** en la que los heurísticos se acaban de perfeccionar a partir de los resultados y conclusiones obtenidos en la fase de validación.

Como parte del proceso metodológico propuesto, la lista de indicadores se puso a prueba en diferentes evaluaciones recogidas en el apartado publicaciones de esta tesis. Todas ellas sirvieron para ajustar las definiciones de algunos de los indicadores, añadir uno nuevo, así como otras mejoras a través de las cuales se pudo validar la propuesta. En el primero de estos trabajos se observó una cierta dificultad entre los evaluadores para distinguir entre los diferentes valores de la escala Likert de puntuación, así como para ser consistentes en su aplicación, algo que también destacan autores como Sauro (2013) en otros trabajos con evaluaciones heurísticas. Con el objetivo de facilitar la evaluación y poder asegurar que los evaluadores comprendían y evaluaban consistentemente cada heurístico, se preparó una guía con una definición de cada indicador y ejemplos prácticos de puntuaciones. La guía completa se puede consultar en el anexo 1. En el mismo sentido, el primero de los trabajos en los que se utilizó la lista de indicadores heurísticos, sirvió a los evaluadores para familiarizarse con los principios en

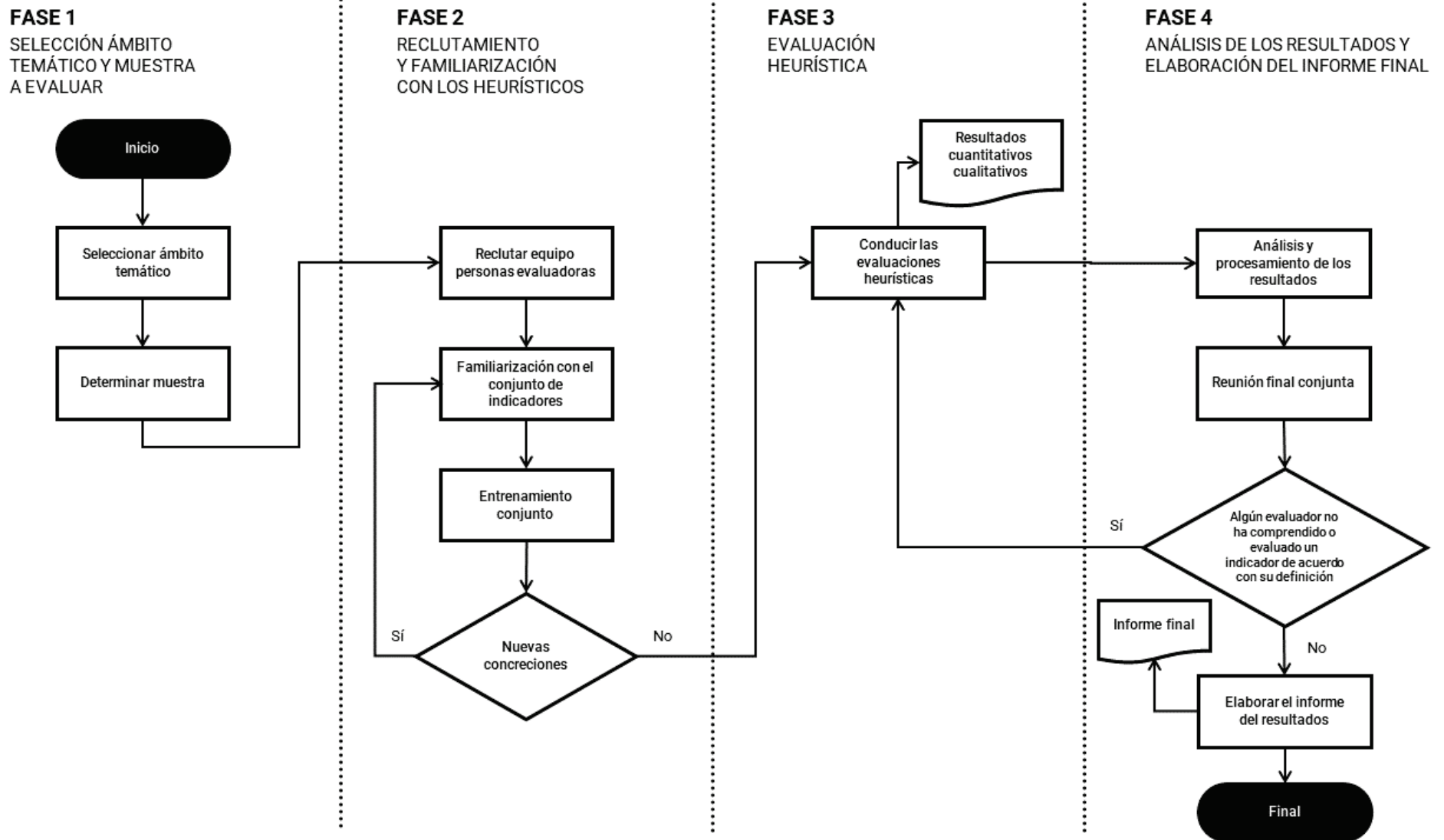
Gráficos estadísticos para personas con baja visión:
desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

un caso aplicado sobre un conjunto más discreto de gráficos y desde una aproximación menos formal (publicación 5).

A continuación, se muestra un resumen y el diagrama del proceso seguido en cada una de las evaluaciones heurísticas llevadas a cabo en el marco de esta investigación:

- **Fase 1.** Selección del ámbito temático y muestra de gráficos a evaluar.
 - . Determinar el ámbito temático a evaluar.
 - . Obtener una muestra representativa del conjunto de gráficos a evaluar.
- **Fase 2.** Reclutamiento y familiarización con los heurísticos.
 - . Reclutar al equipo de evaluadores.
 - . Familiarizar a los evaluadores con el conjunto de indicadores heurísticos.
 - . Entrenamiento conjunto en el uso del conjunto de heurísticos y la asignación de puntuaciones.
- **Fase 3.** Evaluación heurística.
 - . Conducción de la evaluación heurística.
- **Fase 4.** Análisis de los resultados y elaboración del informe final.
 - . Análisis y procesamiento de los datos cuantitativos y cualitativos obtenidos.
 - . Reunión final y revisión conjunta de los resultados.
 - . Elaboración del informe de resultados.

Figura 37. Diagrama del proceso seguido para la conducción de las evaluaciones heurísticas.



4. Publicaciones

En este apartado se recogen las publicaciones derivadas del trabajo de esta tesis, con una referencia al factor de impacto y cuartil de acuerdo con el Journal Citation Reports (JCR) y el Scimago Journal Rank (SJR), de cada una de ellas. La tabla 7 muestra también la posición del autor de la tesis en cada una de las publicaciones y el estado actual (enviado, en revisión, aceptado o publicado).

Tabla 7. Lista de publicaciones que conforman la tesis doctoral.

ID	Publicación	JCR IF	SJR	Primer autor	Fecha de publicación	Publicado/ aceptado
1	Alcaraz Martínez, Rubén; Ribera Turró, Mireia; Granollers Saltiveri, Toni. "Gráficos estadísticos accesibles para personas con baja visión y visión cromática deficiente". En: Congreso Internacional de Interacción Persona-Ordenador (20º: 2019: San Sebastián). <i>Interacción 2019</i> . San Sebastián: Asociación Interacción Persona-Ordenador, 2019. http://hdl.handle.net/2445/142177 .	-	-	Sí	Sí	Publicado
2	Alcaraz Martínez, Rubén; Ribera Turró, Mireia; Granollers Saltiveri, Toni. "Accessible statistical charts for people with low vision and colour vision deficiency". En: <i>Interacción '19: Proceedings of the XX International Conference on Human Computer Interaction</i> . Article No.: 28 p. 1-2. https://doi.org/10.1145/3335595.3335618 . (ACM extended abstract)	-	-	Sí	Sí	Publicado
3	Alcaraz Martínez, Rubén; Ribera Turró, Mireia; Granollers Saltiveri, Toni. "La accesibilidad de los gráficos estadísticos para personas con baja visión y visión cromática deficiente: revisión del estado del arte y perspectivas". <i>Interacción: revista digital de AIPO</i> . Nº 1 (2020). http://revista.aipo.es/index.php/INTERACCION/article/view/9 .	-	-	Sí	Sí	Publicado
4	Alcaraz Martínez, Rubén; Ribera Turró, Mireia; Granollers Saltiveri, Toni. "Methodology for heuristic evaluation of the accessibility of statistical charts for people with low vision and color vision deficiency". <i>Universal access in the information society</i> . 2021. Preprint: https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-156959/v1 . https://www.researchsquare.com/article/rs-156959/v1 .	1.815 Q2	0.49 Q2	Sí	Sí	Publicado

ID	Publicación	JCR IF	SJR	Primer autor	Fecha de publicación	Publicado/ aceptado
5	Alcaraz Martínez, Rubén; Ribera Turró, Mireia; Granollers Saltiveri, Toni. "Avaluació de l'accessibilitat per a persones amb baixa visió dels gràfics estadístics dels llocs web de les universitats públiques catalanes". En: <i>II Congrés Internacional sobre Universitat i Inclusió</i> . Barcelona: Generalitat de Catalunya, Departament d'Empresa i Coneixement; Xarxa Vives d'Universitats, 2019. https://doi.org/10.1344/anpsic2020.50.1 .	-	-	Sí	Sí	Publicado
6	Alcaraz Martínez, Rubén; Ribera Turró, Mireia; Granollers Saltiveri, Toni; Pascual, Afra. "¿Son accesibles los gráficos estadísticos para personas con baja visión en la prensa digital?: una propuesta metodológica basada en heurísticas". <i>El profesional de la información</i> . Vol. 29, nº 5 (sept./oct. 2020). https://doi.org/10.3145/epi.2020.sep.15 .	1.505 Q2	0.6 Q1	Sí	Sí	Publicado
7	Alcaraz Martínez, Rubén; Ribera Turró, Mireia. "An evaluation of accessibility of COVID-19 statistical charts of governments and health organisations for people with low vision". <i>El profesional de la información</i> . Vol. 29, nº 5 (sept./oct.2020). https://doi.org/10.3145/epi.2020.sep.14 .	1.505 Q2	0.6 Q1	Sí	Sí	Publicado
8	Alcaraz Martínez, Rubén; Roig, Jordi; Ribera Turró, Mireia; Granollers Saltiveri, Toni; Pascual, Afra. "Accessible charts are part of the equation of accessible papers: a heuristic evaluation of the highest impact LIS Journals". <i>Library hi tech</i> .	1.218 Q3	0.43 Q2	Sí	-	Publicado
9	Alcaraz Martínez, Rubén; Ribera Turró, Mireia; Granollers Saltiveri, Toni. "Directrices para la creación de gráficos estadísticos accesibles para personas con baja visión". En: <i>15th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)</i> . 24-27 June 2020, Sevilla, Spain. https://doi.org/10.23919/CISTI49556.2020.9140814 .	-	-	Sí	Sí	Publicado

La publicación número 7 además de haber sido publicada en una revista de impacto (Q2 en Journal Citation Reports y Q1 en Scimago Journal Rank), ha sido indexada por la **Organización Mundial de la Salud** en su base de datos especializada sobre literatura científica relacionada con la enfermedad del Coronavirus.³³

³³ <https://search.bvsalud.org/global-literature-on-novel-coronavirus-2019-ncov/resource/en/covidwho-1004619>.

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

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

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.¹ 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.

¹ 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.

D3² 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.³

⁴

Highcharts⁵ 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

² <https://d3js.org>.

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

⁴ https://iros.github.io/patternfills/sample_d3.html.

⁵ <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,⁶ 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.
- [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*

⁶ <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.
- [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.
- [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>

Accessible statistical charts for people with low vision and colour vision deficiency

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

ABSTRACT

Statistical charts play a primordial role in different areas of our life, such as information, education, communication or research. However, authors and content publishers do not always follow the accessibility criteria in the design and creation of this type of content. Considering these premises, this work includes the main approaches in which the scientific literature has focused so far to improve the accessibility of statistical charts: 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 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, visualization, color blindness, low-vision users

ACM Reference format:

Rubén Alcaraz Martínez, Mireia Ribera Turró, Toni Granollers Saltiveri. 2019. Gráficos estadísticos accesibles para personas con baja visión y visión cromática deficiente. In *XX International Conference on Human Computer Interaction (Interacción 2019)*, June 25–28, 2019, Donostia, Gipuzkoa, Spain. ACM, New York, NY, USA, 2 pages. <https://doi.org/10.1145/3335595.3335618>

1 Introduction and justification

Permission to make digital or hard copies of part or all of this work for personal or classroom use is granted without fee provided that copies are not made or distributed for profit or commercial advantage and that copies bear this notice and the full citation on the first page. Copyrights for third-party components of this work must be honored. For all other uses, contact the owner/author(s).

INTERACCIÓN 2019, June, 2019, Donostia, Gipuzkoa, Spain

© 2019 Copyright held by the owner/author(s). 978-1-4503-7176-6/19/06
<https://doi.org/10.1145/3335595.3335618>

The important growth of statistical charts, as well as the prevalence of users with low vision or colour blindness requires special attention to be paid to the accessibility to these types of resources as communication elements. Low vision is a distinct visual disability from blindness which cannot be completely corrected with lenses. Colour vision deficiency (CVD) refers to the inability to distinguish certain colours combinations. These individuals present a wide range of characteristics and may use screen magnifiers, screen readers, or colour adaptations.

This research addresses the accessibility of statistical charts for individuals with these profiles. This article includes the first phase of an ongoing research, consisting of a review of the current work and existing solutions, and provides some clues about possible lines of work.

2 Current solutions

The literature offers four different strategies to improve the accessibility of statistical charts: textual alternatives, sound schemes, tactile alternatives and multimodal presentations.

Textual alternatives may consist of: titles, alternative texts, long descriptions, tables and the use of dynamic and interactive visualizations. The title and alternative texts express the content of the chart in a summary manner. They are particularly helpful in identifying the content of a chart. Long descriptions provide the function or information contained in the chart in greater detail. Tables contain the same data as the chart in textual format, however, it is difficult to perceive trends or comparisons between variables in the tables.

Finally, certain software libraries based on Web standards have been designed to create dynamic statistical charts which offer information to the screen readers. SVG in particular allows to enhance images without losing quality and also incorporating ARIA attributes for each of their elements [1]. Two libraries are particularly relevant due to the degree to which they have been adopted: D3¹ and Highcharts². Both have additional modules that implement solutions including patterns, keyboard support,

¹ <https://d3js.org/>.

² <https://www.highcharts.com/>.

compatibility with screen readers, they are able to generate alternatives in tabular format, or to use the WAI-ARIA specification. An example can be seen in the following chart,³ which provides support material for this article.

Beyond the elements specifically created as alternatives, statistical charts can feature other important texts to make them accessible such as legends used to help interpreting the marks and variables used; labels that detail the variables and categories represented; and image captions which include a brief explanation about the chart [2].

Different authors have explored the use of sonification techniques, that represent information through sound, without using voice. In this sense, several techniques have been explored: mapping charts to musical tones [3] and vibrations [4], using sounds to communicate trends [5], using volume, timbre and position to represent quantitative and qualitative aspects [6] or to communicate the shape of a curve [7].

Tactile alternatives are focused on converting digital information into something tangible. Unfortunately, not all people with visual impairment understand Braille and it is also difficult to represent the complex details in charts with precision. This technique also implies being dependent on printers or software which are not available to all audiences.

Multimodality offers users the possibility to access content through one or several combinations based on text, sound and touch. Certain proposals combine tactile alternatives with verbalized information and analyse the use of voice support combined with chart haptic presentation [8]. Yu and Brewster [9] use speech to provide information about the chart's values, while Fritz and Barner [10] also use a light source to present the axes and grid lines.

Regarding the use of colour, Olson and Brewer [11] propose colour schemes on maps adapted for people with CVD. Other contributions have analysed the usefulness of colour for specific tasks [12], to make statistical judgements [13].

The use of different types of visual marks and encodings (position, length, angle, volume and colour) has also been studied [14]. The use of colour has been studied in depth by Mackinlay [15], who classifies attributes such as hue, saturation and luminosity according to their efficiency. Finally, according to Ware [16], colour is useful as a nominal code, whereas the use of grey scale is less effective. Using patterns and textures can also help users with low vision and even for normal black and white printing contexts.

5 Conclusions and future work

Of the four approaches proposed by the scientific community to address the accessibility of charts, textual alternatives and the proper use of other text elements offer highly flexible content that can be adapted to the needs of each user. The use of safe colours,

patterns and textures additionally seem to be effective solutions for people with CVD. All the approaches can be addressed using currently consolidated technological bases in certain existing JavaScript libraries. The possibility to describe the charts' information and the function more thoroughly using WAI-ARIA, implementing secure colour schemes or an appropriate collection of patterns, and finally, creating guidelines that include all these aspects are the main lines of future work.

REFERENCES

- [1] W3C (2018). WAI-ARIA graphics module: W3C recommendation 02 October 2018, <https://www.w3.org/TR/graphics-aria-1.0/>.
- [2] Hong Yu; et al. (2009). Are figure legends sufficient? evaluating the contribution of associated text to biomedical figure comprehension. *Journal of biomedical discovery and collaboration*. 4(1). DOI: <https://dx.doi.org/10.1186%2F1747-5333-4-1>.
- [3] 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.
- [4] 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>.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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*. New York, NY, 147–154.
- [8] 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>.
- [9] 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>.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] J. Mackinlay (1986). Automating the design of graphical presentations of relational information. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*. 5, 110–141.
- [16] Colin Ware (2012). *Information visualization: perception for design*. 3rd ed. Elsevier: Morgan Kaufman, Amsterdam. ISBN:978-1-4503-0000-0/18/06

³ <http://rubenalcaraz.es/graficos/grafico-lineas.html>.

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.

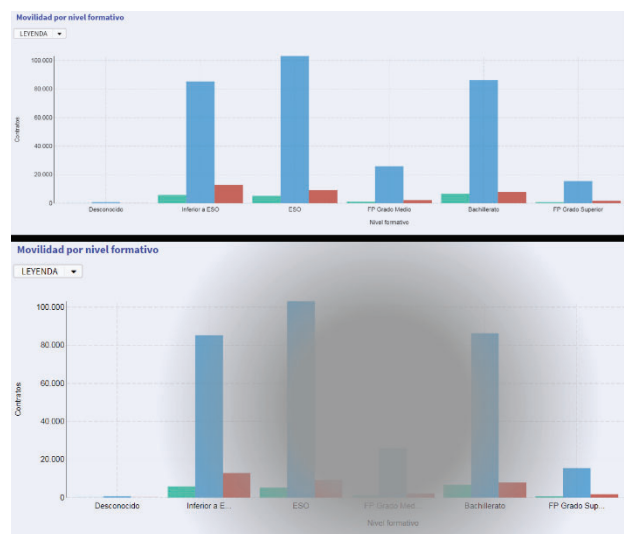


Figura 2: En la simulación de la parte inferior, los efectos de la degeneración macular producen un oscurecimiento y visión borrosa central, dificultando la visualización del gráfico. Fuente: gráfico extraído del catálogo de datos abiertos del gobierno de Asturias. Simulación realizada por los autores.

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

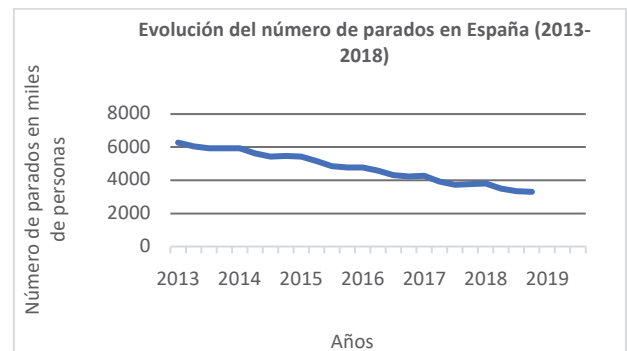


Figura 2: Frente a una tabla de datos, la consulta de un gráfico estadístico permite reconocer mucho más rápido tendencias.⁶

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).

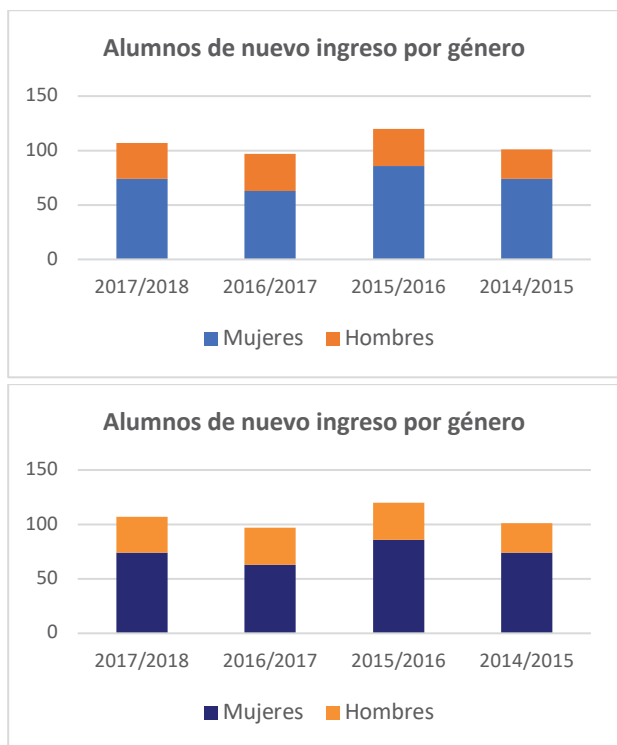


Imagen 3: En la parte superior, se observan los colores ofrecidos por defecto por Microsoft Excel cuando generamos un gráfico de barras apiladas. Este esquema de colores presenta un contraste insuficiente (1.7:1). En la parte inferior, se observa el mismo gráfico, pero con una combinación de colores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

Material complementario

Resultado de la revisión de alcance del artículo:

Alcaraz Martínez R., Ribera Turró, M., Granollers Saltiveri, T. (2020). La accesibilidad de los gráficos estadísticos para personas con baja visión y visión cromática deficiente: revisión de alcance y perspectivas. Interacción: revista digital de AIPO, 1 (pp. 59-75).

ID	Referencia	Base de datos	Objetivo del estudio	Tamaño y características de la muestra	Lugar	Resultados, conclusiones o averiguaciones
1	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.	Google Scholar	Comparar la efectividad de las visualizaciones de series temporales utilizando codificaciones visuales de posición, color y área e investigar el impacto de los sistemas de coordenadas cartesianas y polares en su efectividad	24 participantes (14 hombres y 10 mujeres) todos con visión normal, ninguno con VCD entre 18 y 44 años.	Reino Unido	Las visualizaciones de series de temporales que usan el color y la posición son más efectivas que las de área para tareas de detección de máximos, mínimos y tendencias. Sin embargo, para la tarea de comparación, las visualizaciones que usan áreas son más efectivas. Las que se basan en el sistema de coordenadas cartesianas son generalmente igual o más efectivas que las polares.
2	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.	Google Scholar	Se propone un algoritmo para la generación automatizada de un resumen textual de las figuras gráficas presentes en artículos biomédicos siguiendo el modelo IMRaD (introducción, metodología, resultados y discusión)	-	-	El algoritmo propuesto presenta un mejor rendimiento en la generación de resúmenes que los resúmenes automáticos generados a partir del contenido de las primeras frases de los párrafos ubicados cerca de la figura.

ID	Referencia	Base de datos	Objetivo del estudio	Tamaño y características de la muestra	Lugar	Resultados, conclusiones o averiguaciones
3	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.	Google Scholar	Sugerir un conjunto de variables de diseño que influyen en el rendimiento en diversas tareas de comparación agregada de series temporales.	582 participantes (386 hombres y 276 mujeres) todos con visión normal, ninguno con VCD	EE. UU.	H1: Visual variables that support preattentive summarization, such as color, will better support summary comparisons for designs where aggregation is not done computationally, whereas visual variables with higher perceptual fidelity, such as position, will better support point comparisons. H2: Mapping variables that explicitly convey relevant statistics (either the exact task statistic or a benchmark statistic, such as the mean when estimating variance) will support more accurate comparisons, but will still be limited by how each statistic is computed and visualized. H3: Computational variables that provide task-aligned discrete aggregation will support more accurate aggregate comparisons than variables which are encoded continuously
4	Albers, D. (2018). Modeling color difference for visualization design. IEEE transactions on visualization and computer graphics, 24(1), pp. 392-399.	IEEE Xplore Digital Library	Medir la percepción en la diferencia de los colores en los tres tipos de gráficos utilizados con más frecuencia: puntos, barras y líneas.	Diagramas de dispersión 81 participantes (30 mujeres y 41 hombre)	EE. UU.	Los resultados indican que las habilidades de las personas para percibir las diferencias de color varía significativamente entre los tipos de marcas. Las marcas

ID	Referencia	Base de datos	Objetivo del estudio	Tamaño y características de la muestra	Lugar	Resultados, conclusiones o averiguaciones
				<p>Gráficos de barras 288 participantes (141 mujeres, 146 hombres y 1 DNR)</p> <p>Gráficos de líneas 72 participantes (29 mujeres y 43 hombres)</p> <p>Todos con visión normal, ninguno con VCD</p>		alargadas permiten una mayor discriminabilidad.
5	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 Com-puter Systems, pp. 574–581.	Scopus	<p>Determinar si la música puede ser utilizada en solitario como elemento para comunicar información de una interfaz gráfica a usuarios ciegos.</p> <p>Analizar la efectividad de AUDIOGRAPH, una herramienta para la comunicación de información gráfica compleja a través del uso de la música.</p>	12 personas ciegas	Reino Unido	<p>Los usuarios podían estimar el tamaño de los objetos gráficos y su forma general con una precisión dentro del 10%</p> <p>El contexto parece jugar un papel importante para ayudar a una comprensión significativa de los diagramas comunicados</p>
6	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,	Google Scholar	Mediante una serie de experimentos con una	Entre 21 y 39 personas ciegas	Reino Unido	Los usuarios pudieron interpretar ubicaciones de

ID	Referencia	Base de datos	Objetivo del estudio	Tamaño y características de la muestra	Lugar	Resultados, conclusiones o averiguaciones
	62(1), pp. 21-40.		plataforma experimental (AudioGraph) se pretende determinar la capacidad de los usuarios ciegos para procesar información musical dirigida a comunicar diagramas simples.	que han adquirido esa condición tras su etapa formativa, todas con estudios superiores y sin conocimientos musicales específicos		coordinadas, formas, tamaños y disposiciones. El contexto perceptivo desempeñó un papel importante en la interpretación de los estímulos musicales estructurados que comunicaban diagramas simples.
7	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.	Springer Link	Analizar el impacto del uso de textos alternativos, leyendas y descripciones largas en la Web para describir gráficos estadísticos en la accesibilidad de este contenido para personas ciegas y con baja visión.	13 estudiantes de secundaria: 7 con baja visión de entre 12 y 15 años usuarios de magnificadores de pantalla y adaptación de contraste, 6 ciegos de entre 17 y 21 años usuarios de lectores de pantalla.		Las páginas web modificadas presentaron una mejor accesibilidad. Los estudiantes con baja visión no pudieron responder al 9% de las preguntas a partir del contenido original, mientras que respondieron a todas a partir de la información disponible en las páginas revisadas. En el caso de los estudiantes ciegos se pasó de un 53% de preguntas que no se pudieron responder a un 10%.
8	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 .	Google Scholar	Descubrir el nivel de precisión con el que las personas videntes podían dibujar bocetos de un gráfico después de escucharlos una versión sonora, así como identificar cualquier diferencia en	6 personas (5 hombres y 1 mujer) videntes estudiantes universitarios. 2 participantes se describieron como músicos y otros dos	Reino Unido	Los resultados muestran una precisión alta (más del 80% de promedio) en todos los casos y no se encontraron diferencias significativas entre instrumentos.

ID	Referencia	Base de datos	Objetivo del estudio	Tamaño y características de la muestra	Lugar	Resultados, conclusiones o averiguaciones
			el rendimiento cuando los gráficos se presentaban usando diferentes combinaciones de instrumentos.	afirmaron no tener experiencia musical.		
9	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.	ACM Digital Library	Analizar una metodología basada en un sistema de inferencia bayesiano para reconocer el mensaje principal de un gráfico de barras simple y analiza el papel potencial del mensaje de un gráfico como información para elaborar resúmenes que mejoren su recuperación en bases de datos y como elemento para la creación de versiones multimodales.	-	EE. UU.	Se concluye que el objetivo comunicativo o el mensaje de los gráficos generalmente no se incluye en el texto de los artículos.
10	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.	Google Scholar	Mostrar el funcionamiento de un sistema que proporciona acceso a gráficos estadísticos a personas con discapacidad visual a partir de una representación en formato XML	-	EE. UU.	Se muestra como con técnicas relativamente sencillas es posible identificar los componentes básicos de un gráfico y la generación posterior de una representación en formato XML. Las principales dificultades se encuentran al trabajar con gráficos con una

ID	Referencia	Base de datos	Objetivo del estudio	Tamaño y características de la muestra	Lugar	Resultados, conclusiones o averiguaciones
						baja calidad de imagen, así como con aquellos que no siguen las pautas de buen diseño.
11	Cleveland, W. S., McGill, R. (1984). Graphical perception: theory, experimentation, and application to the development of graphical methods. <i>Journal of the American Statistical Association</i> , 79(387), pp. 531-554.	Google Scholar	Se analiza el papel de diferentes tipos de marcas y variables visuales (posición, longitud, ángulo, volumen o color) en la percepción y comprensión de un gráfico estadístico	55 y 54 personas de las que no se proporciona más información. Otro experimento en el que participan 51 personas divididas en dos grupos, uno de mujeres amas de casa sin conocimientos técnicos específicos y otro formado por mujeres y hombres con conocimientos técnicos.	EE. UU.	Los experimentos validan el análisis, pero sugieren ampliar el conjunto de tareas y demuestran que son necesarios cambios profundos en la manera en que se utilizan las marcas visuales para mejorar la percepción gráfica.
12	Cohen R. F., Yu, R., Meacham, A., & Skaff, J. (2005). PLUMB: displaying graphs to the blind using an active auditory interface. <i>Proceedings of the 7th international ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility</i> , pp. 182-183.	Scopus	Presentar el funcionamiento de PLUMB un sistema que muestra un gráfico dibujado en una tableta y utiliza señales auditivas para ayudar a	-	EE. UU.	No se aportan conclusiones, sólo se prevé incorporar usuarios como trabajo futuro e investigar sobre la incorporación al sistema de un stylus.

ID	Referencia	Base de datos	Objetivo del estudio	Tamaño y características de la muestra	Lugar	Resultados, conclusiones o averiguaciones
			un usuario ciego a navegar por él.			
13	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.	Scopus	Se analizan diferentes métodos para crear un sistema de extracción automática de los pies de gráficos en artículos científicos.	Se analizan 100 publicaciones biomédicas en formato pdf y se escoge un gráfico al azar de cada una.	EE. UU.	El sistema que presenta mejor rendimiento es SABWI/NA con una precisión del 94%.
14	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.	Google Scholar	Se describe el funcionamiento de SelTex un sistema automatizado de generación de texto para la creación de pies y resúmenes que acompañen a gráficos de acuerdo con la intención comunicativa del autor.	Se analizan 411 textos en francés publicados en libros de estadísticas	Canadá	A partir del estudio realizado se desarrollan e incorporan nuevas reglas para evitar incluir informaciones poco relevantes en los textos generados. Las principales limitaciones del sistema se encuentran en la poca información disponible en algunos gráficos y en seleccionar el vocabulario adecuado al describir valores (bajo, alto, etc.)
15	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.	Google Scholar	Evaluar la utilidad del color y otras variables visuales para realizar estimaciones de promedios y realizar juicios basados en ellos.	74 participantes (42 mujeres y 32 hombres) de entre 18 y 62 años.	EE. UU.	Los resultados confirman que el color es la variable visual que supera significativamente al resto.
16	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.	IEEE Xplore Digital Library	Se describe un algoritmo para el reconocimiento automático de los datos asociados a un gráfico circular en dos y tres	-	India	Los resultados experimentales demuestran que el algoritmo propuesto puede extraer datos de gráficos 2D y 3D con una alta precisión. El trabajo futuro

ID	Referencia	Base de datos	Objetivo del estudio	Tamaño y características de la muestra	Lugar	Resultados, conclusiones o averiguaciones
			dimensiones, con el objetivo de generar alternativas en forma de tabla.			pasa por mejorarlo minimizando el error al extraer también datos estructurales de los gráficos en 3D, así como datos erróneos de los bordes que separan cada porción del gráfico.
17	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.	Scopus	Se describe el funcionamiento de 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.	-	EE. UU.	-
18	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.	Scopus	Se analiza la manera de interactuar de los usuarios con los gráficos creados mediante Microsoft Excel y se describe un sistema que integra señales auditivas y hápticas mediante un dispositivo Novint Falcon.	-	EE. UU.	Los resultados muestran la importancia de proporcionar un sistema que ofrezca una navegación guiada y señalan la importancia de las señales auditivas para separar las áreas virtuales del gráfico. Como trabajo futuro se pretende incorporar usuarios.
19	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	Scopus	Estudiar un corpus de pies de gráficos con el	Se analizan los pies de 100	EE. UU.	Aproximadamente la mitad de los pies contienen alguna

ID	Referencia	Base de datos	Objetivo del estudio	Tamaño y características de la muestra	Lugar	Resultados, conclusiones o averiguaciones
	information graphics. Proceedings of the 43rd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL'05), pp. 223-230.		objetivo de determinar hasta qué punto contribuyen a reconocer el mensaje que el autor del gráfico quiere transmitir. El trabajo es parte de un proyecto más amplio que busca mejorar el acceso de las personas con discapacidad visual a los gráficos.	gráficos.		evidencia que contribuye a comprender el mensaje del gráfico, pero no son suficientes.
20	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.	Scopus	Se describe el funcionamiento de una extensión de navegador basada en un sistema bayesiano que proporciona un resumen textual del contenido del gráfico que se lee al usuario mediante un lector de pantalla.	10 usuarios con diferentes grados de discapacidad visual (sólo uno capaz de ver los gráficos mediante un magnificador de texto, no utilizado durante el experimento) con diferentes niveles de conocimiento técnico, todos usuarios del lector de pantalla JAWS.	EE. UU.	Para evaluar la utilidad del sistema se utilizan 3 métricas: utilidad (8.2 sobre 10), facilidad de uso (9.1 sobre 10) y facilidad de pulsación de teclas (9.8 sobre 10)
21	Engel, C., Weber, G. (2017). Improve the accessibility of tactile charts. Human-Computer Interaction - INTERACT 2017, pp. 187-195.	Springer Link	Automatizar el proceso de creación de gráficos	71 usuarios de gráficos táctiles	Alemania	Se identifica un flujo de trabajo para la creación de

ID	Referencia	Base de datos	Objetivo del estudio	Tamaño y características de la muestra	Lugar	Resultados, conclusiones o averiguaciones
			táctiles. Se estudia mediante una encuesta los pasos del proceso y se resumen los requisitos de una aplicación para llevarla a cabo.	(34 ciegos, 7 con baja visión y 30 videntes) con una media de edad de 43 años. Todas las personas ciegas conocen el Braille. Todos utilizan gráficos táctiles en su ámbito laboral. 8 trabajan o estudian en la universidad.		gráficos táctiles basado en 4 pasos. El principal resto es reducir el tiempo de producción y la calidad del producto final. Como trabajo futuro se plantea la creación de una aplicación que automatice el proceso.
22	Evreinova, T. G., Raisamo, R., & Vesterinen, L. (2008). Non-visual interaction with graphs assisted with directional-predictive sounds and vibrations: a comparative study. <i>Universal access in the information society</i> , 7(1-2), pp. 93-102. https://doi.org/10.1007/s10209-007-0105-9 .	Springer Link	Medir y comparar el rendimiento subjetivo registrado con las vibraciones direccionales predictivas respecto el rendimiento logrado al explorar tres imágenes gráficas con señales de sonido predictivo. Otro objetivo es descubrir qué tipo de señales de retroalimentación requieren un menor esfuerzo cognitivo para interpretar su significado.	8 personas videntes diestras con los ojos vendados (4 hombres y 4 mujeres)	Finlandia	Se observaron diferencias significativas en el tiempo dedicado a completar la inspección no visual de los gráficos. Se confirmó el uso beneficioso de las señales de sonido predictivo direccional.
23	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.	IEEE Xplore	Analizar las técnicas para la descripción de	Se utilizaron 4 buscadores:	Brasil	El experimento permitió comprobar como los motores

ID	Referencia	Base de datos	Objetivo del estudio	Tamaño y características de la muestra	Lugar	Resultados, conclusiones o averiguaciones
		Digital Library	gráficos en formato SVG, así como evaluar la forma en la que los motores de búsqueda indexan este contenido.	Google, Yahoo, Bing y Duck Duck Go para analizar la indexación de un gráfico.		de búsqueda indexaron el título, descripción, texto y el atributo aria-label de los gráficos, demostrando que elementos necesarios para mejorar la accesibilidad de los gráficos también pueden mejorar su posicionamiento.
24	Ferres, L., Verkhogliad, 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.	Scopus	Se describe inspectGraph, un sistema que permite generar descripciones breves de un gráfico generado con Microsoft Excel. También una herramienta para que los usuarios puedan realizar consultas y navegar a través de los valores del gráfico.	-	Canadá	-
25	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.	ACM Digital Library	Se describe el funcionamiento de la ayuda técnica iGraph-LITE que permite acceder a las personas ciegas a los gráficos de líneas a través de la navegación por sus diferentes componentes.	2 personas con baja visión y tres ciegos legales no congénitos (2 hombres y 1 mujer) todos expertos en estadística que utilizan gráficos en su trabajo diario.	Canadá	Los usuarios fueron capaces de interactuar con la interfaz con una precisión elevada, logrando responder a pregunta relativamente complejas sobre los gráficos. El principal límite del experimento se encuentra en el hecho de no haber probado su utilidad con gráficos más complejos con muchas líneas.
26	Feria, M. (2010). Consejos para la confección de gráficos científicos. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve, 20, pp. 45-56.	Google Scholar	Se describen los elementos que	-	España	-

ID	Referencia	Base de datos	Objetivo del estudio	Tamaño y características de la muestra	Lugar	Resultados, conclusiones o averiguaciones
			configuran un gráfico estadístico y se analiza su importancia para lograr una comunicación efectiva.			
27	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.	IEEE Xplore Digital Library	Analizar el uso de diferentes variables acústicas (tono, volumen, timbre y posición) para representar aspectos cuantitativos, cualitativos y categóricos en vistas a mejorar la accesibilidad de las personas con discapacidad visual a partir de la implementación y evaluación de 5 diseños.	Un grupo de voluntarios al que se forma previamente en el uso de la herramienta. No se ofrece más información.	Reino Unido	Los resultados muestran la posibilidad para los usuarios de identificar con mayor precisión los valores del gráfico.
28	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.	IEEE Xplore Digital Library	Se describen los fundamentos de un sistema háptico para mejorar la accesibilidad de los gráficos estadísticos para personas con discapacidad visual que incorporar salida de voz y texturas modificables según las características o propiedades del objeto al que se aplican en sustitución del color	-	EE. UU.	Las principales aportaciones son la incorporación de texturas para diferenciar colores y una fuente de luz para presentar los ejes y las líneas de cuadrícula de los gráficos

ID	Referencia	Base de datos	Objetivo del estudio	Tamaño y características de la muestra	Lugar	Resultados, conclusiones o averiguaciones
			para mostrar variaciones en los datos.			
29	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.	IEEE Xplore Digital Library	Se describe el funcionamiento de VIEW un sistema que extrae automáticamente información de gráficos en formato de mapa de bits con el objetivo de mejorar su accesibilidad.	100 gráficos de barras, 100 circulares y 100 de líneas extraídos de diferentes recursos reales.	EE. UU.	La metodología propuesta logra un 97% de precisión en la identificación de los tipos gráficos, y extrae de manera sólida tanto la información textual como la gráfica. En base a la información extraída, también es posible crear una tabla de datos. Sin embargo, se necesita más trabajo para mejorar el rendimiento del sistema. Primero, para avanzar en la clasificación de imágenes, se deben desarrollar características adicionales (como tener en cuenta las características de los bloques de texto). Además, en la tabla de datos en formato de texto, se deben generar más parámetros para describir completamente los gráficos, por ejemplo, la información textual adicional y los ejes. Finalmente, la capacidad del sistema puede mejorarse ampliando la clase de imagen y considerando gráficos 3D
30	Gies, Ted. (2018). The ScienceDirect accessibility journey: a case study. Learned publishing, 31(1), pp. 69-76.	Google Scholar	Describir los aspectos más importantes a tener en cuenta a la hora de	-	Reino Unido	-

ID	Referencia	Base de datos	Objetivo del estudio	Tamaño y características de la muestra	Lugar	Resultados, conclusiones o averiguaciones
			asegurar la accesibilidad de un artículo científico y, en concreto, los avances realizados por ScienceDirect en este sentido			
31	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.	Springer Link	Se describe un sistema para mejorar la accesibilidad de los gráficos estadísticos en Excel a partir de su API nativa	14 usuarios (11 hombres y 3 mujeres) de entre 16 y 54 años. 11 usuarios con perfil de analista de datos, consultor de accesibilidad, gerente, ingeniero o informático. 3 usuarios estudiantes de matemáticas.	Australia	Más del 85% de los usuarios pudieron responder las preguntas con más del 80% de corrección. Más del 92% de los usuarios calificaron la solución como fácil o muy fácil. Más del 85% de los usuarios calificaron que la solución "Mejorará" o "Mejorará Altamente" su productividad.
32	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.	Google Scholar	Describir un sistema para generar de manera automatizada un resumen explicativo del mensaje que intentan transmitir los gráficos de líneas a partir del texto del documento.	-	EE. UU.	El sistema anuncia al usuario la posibilidad de leer el resumen del gráfico cuando éste llega al punto del texto identificado como más relevante para ese gráfico. Como principal línea de trabajo futuro se hace necesario probar el sistema con usuarios ciegos.
33	Gretchen, M. C. (2012). Increasing accessibility for map readers with acquired and	Google	Proponer un algoritmo		EE. UU.	El algoritmo se muestra

ID	Referencia	Base de datos	Objetivo del estudio	Tamaño y características de la muestra	Lugar	Resultados, conclusiones o averiguaciones
	inherited colour vision deficiencies: a re-colouring algorithm for maps". The cartographic journal, 49(4), pp. 302-311.	Scholar	para mejorar la accesibilidad de los mapas para personas con VCD a partir de su recolorado.			efectivo en la detección de bordes y el recolorado de las diferentes áreas. Debe ser probado con usuarios.
34	Herman, I. & Dardailler, D. (2002). SVG linearization and accessibility. Computer graphics forum, 21,4, pp. 777-786.	Google Scholar	Describir un vocabulario de metadatos orientados a mejorar la accesibilidad para describir el contenido de un fichero SVG.	-	Holanda	Se obtiene una primera versión del lenguaje que debe ampliarse en trabajos futuros.
35	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.	IEEE Xplore Digital Library	Describir 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)	52 participantes de las asociaciones RNIB, NCBI y ONCE con diferentes discapacidades visuales (ciegos congénitos, no congénitos, baja visión, etc.) sin especificar más.	España	Los resultados de los estudios con usuarios confirman la validez y el potencial del sistema, aunque algunas características requieren algunos ajustes para crear futuras herramientas utilizables
36	Ina, S. (1996). "Computer graphics for the blind". ACM SIGCAPH Computers and the Physically Handicapped, 5, pp. 16-23.	Google Scholar	Describir un sistema para la generación de alternativas táctiles para gráficos estadísticos basado en el uso de puntos en relieve.	-	EE. UU.	El sistema diseñado es capaz de generar versiones táctiles en relieve de diferentes tipos de gráficos e incluso diferenciar colores que se muestran al usuario utilizando diferentes tipos de patrones.
37	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.	IEEE Xplore Digital	Describir un sistema que, tras procesar individualmente los	25 usuarios identificados como	India	Se ha obtenido un sistema diseñado específicamente para funcionar con Excel

ID	Referencia	Base de datos	Objetivo del estudio	Tamaño y características de la muestra	Lugar	Resultados, conclusiones o averiguaciones
		Library	componentes gráficos y textuales de un gráfico, es capaz de generar descripciones automatizadas en lenguaje natural.	potenciales usuarios del sistema sin especificar sus características.		2007. Se ha probado con 200 gráficos generados con Excel y guardados como imagen en formato de mapa de bits con Paint. Los resultados de las encuestas realizadas a los usuarios muestran una satisfacción moderada respecto a la calidad de interpretación del sistema, y alta respecto a la facilidad de uso y naturalidad de la voz utilizada.
38	Kennel, A. R. (1996). Audiograf: a diagram-reader for the blind. 2nd Annual ACM Conference on Assistive Technologies, pp. 51–56.	Scopus	Describir el funcionamiento de una solución multimodal que combina versiones táctiles de los gráficos con información auditiva.	-	Canadá	Las pruebas con usuarios muestran que éstos pueden leer los gráficos en un tiempo relativamente corto.
39	Krufka, S. & Barner K. (2006). A user study on tactile graphic generation methods. Behaviour and information technology, 25(4), pp. 297-311.	Google Scholar	Describir y comparar los diferentes métodos y tecnologías para la creación de versiones táctiles de un gráfico estadístico. Fundamentalmente, gráficos de línea elevada (raised-line) y gráficos en relieve (relief).	20 usuarios (14 videntes y 6 ciegos)	EE. UU.	Los resultados muestran que los gráficos de línea elevada superan a las imágenes en relieve en los tres tipos de tareas planteadas: discriminación, identificación y comprensión.
40	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.	Google Scholar	Describir un sistema para mejorar la generación de alternativas táctiles de	51 personas involucradas en la conversión de gráficos	EE. UU.	No se muestran resultados de los cuestionarios y entrevistas.

ID	Referencia	Base de datos	Objetivo del estudio	Tamaño y características de la muestra	Lugar	Resultados, conclusiones o averiguaciones
			gráficos estadísticos basado en diferentes componentes encargados cada uno de un proceso distinto (clasificación de imagen, segmentación, simplificación y diseño) También se analizan las prácticas de trabajo actuales a partir de una encuesta.			
41	Mackinlay, J. (1986). Automating the design of graphical presentations of relational information. ACM Transactions on Graphics (TOG), 5, pp. 110-141.	ACM Digital Library	Desarrollar una herramienta que diseñe automáticamente gráficos efectivos que muestren información relacional (de barras, diagramas de dispersión y grafos)	-	EE. UU.	Se proponen 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) ordenados de mayor a menor eficiencia,
42	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.	IEEE Xplore Digital Library	Describir un sistema para automatizar el proceso de clasificación de imágenes y la extracción de información centrado en los gráficos de área con el objetivo de generar resúmenes en lenguaje natural a partir de diversas plantillas.	-	Pakistán	El sistema desarrollado es capaz de identificar el tipo de imagen y generar un resumen en lenguaje natural. No obstante, el enfoque propuesto sólo se ocupa de gráficos de área simétrica, considerándolos sólo para probar la hipótesis.
43	McGookin, D. K. & Brewster, S. A. (2006). Soundbar: exploiting multiple views in multimodal graph browsing. 4th Nordic Conference on Human-Computer Interaction, pp.	Scopus	Describir un sistema para mejorar la	12 estudiantes universitarios (7	Reino Unido	Los usuarios respondieron correctamente a una

ID	Referencia	Base de datos	Objetivo del estudio	Tamaño y características de la muestra	Lugar	Resultados, conclusiones o averiguaciones
	145-154.		accesibilidad de los gráficos estadísticos de barras que, además del habla, incorpora 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.	hombres y 5 mujeres) de la Universidad de Glasgow de entre 18 y 30 años		significativa cantidad mayor de respuestas con las versiones de los gráficos a través del sistema SoundBar. El tiempo necesario para responder también fue inferior, mostrando a Soundbar como un método más preciso y eficiente para recuperar y comparar información en gráficos de barras en comparación a las representaciones hápticas estándar.
44	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.	Google Scholar			EE. UU.	
45	Mittal, V. O., Carenini, G. Moore, J. D., & Roth, S. (1998). Describing complex charts in natural language: a caption generation system. Computational Linguistics, 34, pp. 431-468.	ACM Digital Library	Proponer un marco de trabajo basado en diferentes sistemas para la generación automatizada de pies de imagen en lenguaje natural.	-	EE. UU.	Se obtienen un prototipo que funciona con gráficos y mapas en 2D.
46	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).	IEEE Xplore Digital Library	Comparar el Braille de punto normal con otro de alta densidad (menor diámetro)	12 personas ciegas adultas (8 mujeres con una media de edad de 37,42 años y 4 hombres) usuarios del Braille como principal medio de lectura.	EE. UU.	Los resultados muestran de en el caso del Braille de puntos de alta densidad, los pines individuales se leyeron con la misma rapidez. No obstante, en configuraciones más complejas, se mostraron menos eficientes.

ID	Referencia	Base de datos	Objetivo del estudio	Tamaño y características de la muestra	Lugar	Resultados, conclusiones o averiguaciones
				Todos adquirieron la ceguera con posterioridad a los 5 años. 9 participantes leen con las dos amanos, uno con la izquierda y dos con la derecha.		
47	Nazemi, A., & Murray, I. (2013). A method to provide accessibility for visual components to vision impaired. <i>International journal of human computer interaction (IJHCI)</i> , 4, 1, pp. 54-69.	Google Scholar	Describir un método para extraer información implícita en los componentes de un gráfico de barras, circular, de líneas y matemático para presentárselo al usuario en formato de audio.	-	Australia	Se obtiene un resumen textual del gráfico que incluye el hipotético mensaje pretendido por el creador y se transmite al usuario mediante un sintetizador de texto a voz.
48	Nuñez, J. R., Anderton, C. R., Renslow, R. S. (2018). Optimizing colormaps with consideration for color vision deficiency to enable accurate interpretation of scientific data. <i>PLOS one</i> , 13(7). DOI: https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199239 .	Google Scholar	Se describe un sistema para la creación de mapas de color optimizados para que usuarios con visión cromática deficiente logren alcanzar una percepción más precisa de los datos científicos.	Se utiliza el simulador de visión cromática deficiente colorspace.	EE. UU.	Se obtienen diferentes combinaciones de colores adecuadas para usuarios con visión cromática deficiente.
49	Olson, J. M. Brewer, C. A. (1997). An evaluation of color selections to accommodate map users with color-vision impairments. <i>Annals of the Association of American Geographers</i> , 87(1), pp. 103-134.	Google Scholar	Determinar los efectos de la selección del color en la capacidad de lectura de los mapas por parte de personas con	7 pares de mapas con 7 esquemas de colores diferentes, una	EE. UU.	Con la combinación de colores potencialmente confusa, los usuarios con visión cromática deficiente fueron menos precisos y

ID	Referencia	Base de datos	Objetivo del estudio	Tamaño y características de la muestra	Lugar	Resultados, conclusiones o averiguaciones
			visión normal o deficiente.	versión potencialmente confusa para personas con dificultades para diferenciar el rojo y verde.		tardaron más en responder que los usuarios con visión normal. Con la combinación segura los usuarios con visión cromática deficiente lograron ser tan precisos como los usuarios con visión normal, pero continuaron presentando tiempo de reacción más largos.
50	Pavazza, S., Pap, K. The alternative way of creating infographics using SVG technology. Acta graphica, 23,1-2, pp. 45-56.	Google Scholar	Se describe un sistema para la automatización de creación de infografías a partir de la transformación de un fichero en formato XML a imagen SVG mediante una plantilla XSLT.	-	Croacia	El resultado es más accesible para las personas con discapacidad visual que las imágenes en mapa de bits. Se destaca también la posibilidad de añadir, en fases futuras, animaciones y otros tipos de interacciones con el usuario
51	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.	Scopus	Analizar la relación entre el diagrama de escala de cromaticidad uniforme y los estereotipos de la población para la denominación de colores con el objetivo de seleccionar una serie de colores con los que se minimice la posibilidad de confusiones entre ellos.	20 personas en edad universitaria (15 hombres y 5 mujeres) con agudeza Snellen 20/20 cercana y lejana, corregida si era necesario y con visión cromática normal.	EE. UU.	Sólo existen ocho colores más el blanco, que los participantes fueron capaces de nombrar de manera consistente con, al menos, un 75% de fiabilidad.
52	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.	ACM Digital	Describir un sistema para crear representar	3 usuarios videntes con los	Reino Unido	Una vez lograda la representación de los

ID	Referencia	Base de datos	Objetivo del estudio	Tamaño y características de la muestra	Lugar	Resultados, conclusiones o averiguaciones
	17-25.	Library	gráficos lineales mediante la combinación de una alternativa táctil con técnicas de sonificación para mejorar la accesibilidad de estos recursos para las personas ciegas.	ojos vendados y 1 usuario ciego.		gráficos mediante una alternativa que combina una versión táctil y sonora, se pretende permitir al usuario no sólo consultarlos, sino también editarlos. Otra línea de trabajo futuro es ampliar el tipo de gráficos con diagramas de dispersión y tablas.
53	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.	Springer Link	Describir un sistema automatizado para la generación de alternativas táctiles a partir de gráficos en formato SVG para mejorar la accesibilidad de las personas con discapacidad visual.	1 persona ciega miembro del grupo de investigación	Alemania	El prototipo desarrollado muestra toda la información textual disponible en formato XML: títulos, descripciones, forma, colores, valores, etc. Como trabajo futuro que pretende que el prototipo pueda generar la alternativa a partir de un SVG contenido en un fichero HTML, así como de imágenes en formato de mapa de bits.
54	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 .	Scopus	Analizar el uso del soporte de voz, de una presentación cinestésica y de ambas para mejorar la accesibilidad de los gráficos.	4 participantes de entre 20 y 45 años (2 ciegos congénitos y dos con baja visión)	Suiza	Los resultados indican que la combinación de las modalidades de audio y kinestésica puede ser un medio de representación prometedor para mejorar la accesibilidad de los gráficos científicos comunes a las personas con discapacidad visual
55	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	Scopus	Describir los principales retos y aspectos	-	EE. UU.	Se sugiere que los estudios que evalúan este tipo de

ID	Referencia	Base de datos	Objetivo del estudio	Tamaño y características de la muestra	Lugar	Resultados, conclusiones o averiguaciones
	Conference on Auditory Display, Limerick, Ireland. http://sonify.psych.gatech.edu/ags2005/pdf/AGS05_WalkerNees.pdf .		pendientes en la literatura para la creación de gráficos multimodales accesibles.			soluciones utilicen gráficos más complejos, similares a los del mundo real y que los usuarios con discapacidad visual se incorporen a la evaluación.
56	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.	ACM Digital Library	Describir el funcionamiento de un interfaz que proporciona una versión táctil de un gráfico circular mediante una tableta gráfica y un stylus en combinación con verbalización de información y analizar su funcionamiento	6 usuarios con discapacidad visual (5 estudiantes de diferentes carreras universitarias y 1 miembro del equipo desarrollador) de edades entre 16 y 55 años (31 años de media). Todos usuarios habituales de ordenadores. 2 de los usuarios son ciegos congénitos, los otros 4 presentan diferentes grados de baja visión. Todos participaron en un experimento previo.	EE. UU.	Se respondieron correctamente 75 preguntas (89%), mientras que 9 respuestas fueron incorrectas (11%). 4 de los errores se debieron a escuchar mal el lector de pantalla. Se produjeron tres errores cuando los valores de dos porciones de un gráfico eran muy similares. Se produjeron dos errores cuando un participante confundió el mapeo de tono, subvirtiendo los valores alto y bajo
57	Watanabe, T., Toshimitsu Y., Koda, & Minatani, K. (2014). Tactile map automated creation	Springer	Describir el	-	Japón	-

ID	Referencia	Base de datos	Objetivo del estudio	Tamaño y características de la muestra	Lugar	Resultados, conclusiones o averiguaciones
	system using OpenStreetMap. International Conference on Computers for Handicapped Persons, ICCHP 2014. Computers helping people with special needs. London: Springer, pp. 42-49.	Link	funcionamiento de un sistema que automatiza el proceso de creación de mapas táctiles a partir de la API de OpenStreetMap.			
58	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.	Scopus	Describir una técnica denominada por los autores como "árbol de intención" pensada para mejorar la accesibilidad de la información gráfica mediante la integración de información descriptiva y navegacional adicional a los gráficos generados en formato SVG.	-	Austria	Se obtiene un prototipo que permite proporcionar a los usuarios con discapacidad información adicional de cada elemento del gráfico más allá de los textos alternativos y la navegación por tablas de datos tradicionalmente utilizadas como alternativa.
59	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 .	Scopus	Se analiza la utilidad de los pies de imagen como elemento para comprender el gráfico al que se refieren.	20 personas evaluaron mediante una escala de Likert la utilidad de 3 combinaciones de figura y texto para entender el significado del gráfico.	EE. UU.	Los resultados muestran diferencias estadísticamente significativas cuando el texto completo no está disponible permitiendo solo al 39-68% de los investigadores biomédicos comprender el gráfico. Con el texto completo aumentó al 86-97%
60	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 .	Springer Link	Con el objetivo de desarrollar una alternativa multimodal para el acceso a gráficos, se discute la disparidad entre la	10 personas videntes (9 hombres y 1 mujer) de entre 20 y 35 años, y 5 personas ciegas	Reino Unido	En las 30 pruebas realizadas para evaluar la capacidad de los usuarios para distinguir las líneas mediante la fricción superficial, la media de respuestas correctas fue de

ID	Referencia	Base de datos	Objetivo del estudio	Tamaño y características de la muestra	Lugar	Resultados, conclusiones o averiguaciones
			<p>percepción háptica humana y la sensación simulada a través de dispositivos de retroalimentación de fuerza.</p>	<p>de entre 30 y 71 años con diferentes niveles educativos.</p>		<p>93,3%. Los usuarios ciegos presentaron una ratio de efectividad superior. En base a los resultados de los experimentos realizados en personas ciegas y videntes, sugerimos dos técnicas: el grabado y el uso de textura para modelar líneas curvas en gráficos hápticos. Se propone la integración de la propiedad de la superficie y las señales auditivas en nuestro sistema para ayudar a los usuarios ciegos a explorar gráficos hápticos</p>
61	<p>Yu W. & Brewster, S. (2003). Evaluation of multimodal graphs for blind people. <i>Universal access in the information society</i>, 2(2), pp. 105-124. https://doi.org/10.1007/s10209-002-0042-6.</p>	<p>Google Scholar</p>	<p>Describir y analizar el desarrollo de un sistema multimodal basado en la combinación de una representación háptica y sonora para mejorar el acceso de las personas ciegas a los gráficos estadísticos.</p>	<p>15 personas videntes estudiantes de informática de la Universidad de Glasgow.</p>	<p>Reino Unido</p>	<p>Los resultados experimentales han demostrado la usabilidad del sistema y los beneficios del enfoque multimodal para las cuatro tareas propuestas con entre un 86,67% y un 98,89% de aciertos según el tipo de gráfico.</p>

Methodology for heuristic evaluation of the accessibility of statistical charts for people with low vision and color vision deficiency

Rubén Alcaraz Martínez (✉ ralcaraz@ub.edu)

Universitat de Barcelona. Departament de Biblioteconomia, Documentació i Comunicació Audiovisual <https://orcid.org/0000-0002-7185-0227>

Mireia Ribera Turró

Universitat de Barcelona. Departament de Matemàtiques i Informàtica


Toni Granollers Saltiveri

Universitat de Lleida. Departament d'Informàtica i Enginyeria Industrial

Long research paper

Keywords: Accessibility, Charts, Graphs, Information visualization, Low-vision, Colour blindness, Heuristic evaluation

DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-156959/v1>

License:  This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License. [Read Full License](#)

Abstract

Purpose: Statistical charts have an important role in conveying, clarifying and simplifying information, and have a significant presence in fields such as education, scientific research or journalism. Despite numerous advances in the field of digital accessibility, charts are still a challenge for people with low vision and color vision deficiency (CVD) and create barriers that hinder their accessibility. The research presented in this paper aims to create a heuristic set of indicators to evaluate the accessibility of statistical charts focusing on the needs of people with low vision and CVD.

Methods: The set of heuristics presented has been developed based on the methodology by Quiñones et al. (2018), which consists of 8 stages: (1) a state of the art literature review; (2 and 3) analysis and description of the most relevant information obtained from this research; (4, 5, and 6) selection and specification of a first set of heuristics relating them to existing heuristics; (7) validation; and (8) refining the set to obtain a final list of heuristics.

Results: A first set of heuristics (17 indicators) has been developed and applied on two heuristic evaluations, and has been amplified to 18 indicators. The final set covers the needs of the user profiles with low vision as well as the needs of the CVD and poor contrast sensitivity users.

Conclusion: this research is a first step to widen accessibility requirements to statistical charts and to take into consideration users with low vision and CVD, often forgotten in accessibility research.

1. Introduction

Statistical charts improve the understanding of big volumes of data very efficiently and reduce the cognitive load associated with reading and digesting textual and tabular information [1]. Therefore, charts have an important role in conveying, clarifying and simplifying information, thus making information more accessible to everybody [2]. Charts have a significant presence in fields such as education, scientific research, journalism, marketing or business intelligence, which justifies the need to ensure access to this type of information to people with disabilities. Moreover, the open data movement and the open distribution of big datasets to citizens particularly by governments on their stride for transparency, has had a big impact on the self-named “data journalism” increasing the number of charts and graphical presentations included in media with a surge of interest among journalists, academics, computer scientists and designers [3] on this type of content. On the business side, this democratization of data has led to the demand for new professional profiles trained in the analysis, management and visualization of data, to the point that in countries such as the United States, it is expected that by 2020 jobs related to data science will increase from 364,000 to 2,720,000 [4].

Although the last decade has seen many advances in the accessibility field, accessible visualizations for visually impaired users are still scarce. Hence, statistical charts currently present important barriers that hinder accessibility for visually impaired users.

Low vision is defined as the condition under which a person's vision could not be corrected completely with correcting lenses. Low vision means that, after the best optical lenses correction, a person has less than 0.3 visual acuity, or a visual field of less than 20 degrees. Low vision difficulties may be classified under 5 different categories: visual acuity, relating to clarity of vision; light sensitivity, which can impede or hinder reading bright screens; contrast sensitivity, which affects distinguishing two colors with low luminance distance; field of vision, which may mean losing central vision, losing peripheral vision or a random field vision caused by occlusions or black spots; and color vision deficiency (CVD), most popularly known as color blindness, caused by the loss or degeneration of retinal cones, the perception organs responsible to detect the different color wavelengths affecting red (the most common, protanopia), green (deuteranopia) or blue (the most uncommon, tritanopia) or all of them [5]. Under this big umbrella we distinguish three severity levels: B1) From no light perception in either eye up to scarce light perception, and an inability to recognize the shape of a hand at any distance or in any direction; B2) From ability to recognize the shape of a hand up to visual acuity of 20/600 and/or a visual field of less than 5 degrees; B3) From visual acuity above 20/600 and up to visual acuity of 20/200 and/or a visual field of less than 20 degrees and more than 5 degrees. Finally, one can include also in this group people with different degrees of color blindness or with difficulties to detect contrast.

This diversity of profiles implies that each user's group will use different assistive technology ranging from screen readers and screen magnifiers to simple customizations, and each of them will also use different strategies –keyboard, mouse, zooming– to navigate through information, in order to profit from the residual vision they have or they will use alternative means such as voice. Screen reader users or magnifier users cannot be strictly differentiated as many people with low vision will combine different techniques and tools depending on the context, needs and preferences.

Moreover, this intrinsic complexity of low vision profiles is amplified with situational visual disabilities, where context conditions may affect every person, with or without low vision. A typical example of a disabling context is the level of ambient light [6], that can drastically reduce readability, and therefore, create situations very similar to intrinsic loss of vision. Another is excessively bright solar light, which may affect contrast perception on a screen and may reduce color differentiation [7], with perceptions very similar to those of CVD users. It is common for these disabling contexts to appear during the interaction with mobiles on real life scenarios; it is not too risky to assimilate mobile users with people with disabilities, and, in particular, with low vision users, as they share many similar barriers to access the information [8]. Therefore, solutions provided to low vision users, can benefit a great number of users, taking into account the adoption of smartphones in our society, and the acquired sovereignty of mobiles as the main channel to access Internet [9].

A previous literature research by the same authors [10] unveiled an important lack of publications and guidelines focused on the accessibility of statistical charts for people with low vision and CVD. This identified gap adds to the existing marginality of a user group representing the 97% of people with visual disabilities [11] in the field of accessibility research. In order to address it and in the context of a bigger project to improve the accessibility of statistical charts for people with low vision and CVD, in this article the authors introduce a tool to evaluate the accessibility of statistical charts within a web-based environment with particular focus on the needs and barriers related to low vision and CVD.

2. Related Research

The Web Content Accessibility Guidelines [12] are the reference document for digital accessibility, they have even been acknowledged as an ISO standard [13], and they have been adopted by many countries as the minimal legal requirement for public (and in some cases even private) websites to comply. In the case of Europe, the WCAG 2.1 has been integrated into the ISO Standard *301 549: Accessibility requirements suitable for public procurement of ICT products and services in Europe v2.1.2* [14] a reference standard determining the accessibility of websites and mobile applications of public sector organizations. WCAG are organized under four theoretical principles covering every aspect of accessibility: perceivable, operable, understandable and robust. Every principle is detailed in several specific guidelines, which in turn are translated to directly evaluable criteria under three levels of conformance.

WCAG, by definition, covers all types of web digital resources and types of information, and while it includes graphical content – with an improvement on contrast issues in its last version, WCAG 2.1 – its general character means that they cannot thoroughly explore every aspect of statistical charts. Based on them, Boudreau [15] has recently created a list of general heuristics and Koivunen and McCathieNevile [16] created heuristics related to graphical content. For his part, Brajnik [17] collects a list of the main accessibility barriers for people with low vision and relates them to the success criteria of the WCAG 1.0 and 2.0, as well as to the Italian legislation.

On the other hand, independently of WCAG but also concerning accessibility, and addressed to content authors, there have been several initiatives to publish recommendations, guides or guidelines related to the authoring of accessible statistical charts. One relevant project is the National Center for Accessible Media (NCAM) guidelines [18], further developed by the *Image description guidelines* by the DIAGRAM Center [19], which recommends some best practices for bar charts, line charts, pie charts and scatter plots, among others. These guidelines focus accessibility efforts on textual alternatives: accessible and equivalent tables or lists for complex charts, summaries of the content detailing the type of chart and main patterns for simpler charts, as well as promoting the use of clear titles, axes labels and legends.

With a more business-oriented vision and a more general scope, but also for authors, Evergreen and Emery [20] have created a data visualization checklist, relying on design principles collected by the same authors [21], which covers aspects such as text, arrangement, color and lines of charts. This checklist has been rigorously tested by Sanjines [22].

Regarding the use of textual alternatives, though not oriented specifically to charts, but to a broader set of image types, the work of Splendiani [23] focuses on how to textually describe non-text content for scientific articles. Previously, the analysis of computer science journals conducted by Splendiani and Ribera [24] had already shown a deficit in the use of text alternatives, safe colour combinations on the marks of the charts, an insufficient font size, or the use of images with a minimum resolution and dimensions. Simon et al. [25] show that the most common problem with charts and figures in the proceedings published by the Innovation and Technology in Computer Science Education (ITiCSE) are captions that do not adequately describe the figure and the use of font sizes too small to be readable.

3. Method

The research presented in this paper is based on the Heuristic Evaluation (HE) method, one of the most efficient usability evaluation techniques without users. Streamlined, the HE is a usability engineering method for finding the usability problems in a user interface design so that they can be attended to as part of an iterative design process. It involves having a small set of evaluators examine the interface and judge its compliance with recognized usability principles (the "heuristics") [26]. Two important aspects must be taken into account when using HE: first, the building of the list of principles and, second, the definition of severity ratings associated to each principle.

The HE general method has been adapted to the creation of a list of heuristic indicators to evaluate the accessibility of statistical charts considering the needs of low vision and CVD users, with the aim to be very clear and easy to apply.

Although there is no a clear agreement on the best suitable process or methodology to develop heuristics [27] within the literature, there are many proposals of sets of heuristic indicators to evaluate usability, user experience or accessibility in several specific fields, similar to the objectives of this article. These studies commonly do not explain the procedures to formulate, specify, validate or refine the list of heuristic indicators and in general are an extension or an adaptation from renowned and well adopted lists such as the ones created by Nielsen [28], Weiss [29], Perlman [30] or, relating accessibility, directly from WCAG. The initial lists do not dive into particular interface features nor in very specific products or applications, dealing instead with very general features, and they need an extension to cover other specific requirements. In the literature there exist also other publications dealing with the methodology of developing a list of heuristic indicators [31–38].

This research adopts the proposal by Quiñones et al. [38] of a formal and systematic methodology as the framework of reference and complements it with the metrics proposed by Jiménez et al. [37] to validate the efficiency of the proposed indicators compared to an existing heuristic list control. This methodology consists of eight stages:

1. Exploratory stage: in this stage the researchers must do a literature review with the goal to collect relevant information in order to develop the heuristic indicators list;
2. Experimental stage: in this stage the researchers analyze data obtained from several previous experiments to retrieve additional information not identified during the first stage;
3. Descriptive stage: researchers select and prioritize the most important questions within the collected information during stage 1 and 2;

4. Correlational stage: researchers try to reconcile domain features and functionalities with user experience principles and attributes related to them, as well as with existing heuristic indicators. If there is no existing heuristic, researchers only match the feature with the usability/UX attribute;
5. Selection stage: the researchers review the list of indicators created since then and decide whether to keep, adapt or delete them;
6. Specification stage: in this stage researchers specify a formal way each indicator. In this stage it is recommended to create a template with the following information per indicator: identifier, priority, name, definition, explanation, function or feature evaluated, examples, benefits, problems that may appear to understand or apply the criterium associated to the indicator, UX or usability attribute evaluated by the indicator, source where the indicator was taken from;
7. Validation stage: in this stage researchers validate the set of heuristic indicators taking into account their efficiency, through different experiments, experts' judgement or user tests;
8. Refining stage: in this stage researchers refine and verify the set of indicators with the conclusions or comments resulting from stage 7;

The list of heuristics obtained through this procedure could potentially be applicable to statistical charts in different formats or media such as printed documents, digital office documents, apps, etc. In this research, in order to avoid a not particular enough tool, the authors decided to focus the evaluation on charts published in the web, postponing the study of other media or formats to future work.

As mentioned above, the list of heuristics proposed in this work is intimately associated with WCAG, which are its starting point and inspiration. In this direction, for a chart to be accessible it is a previous requirement that the website containing it is accessible as well, i.e, the web has to comply with the success criteria established by WCAG. On the other hand, WCAG criteria covers some requirements affecting assistive technology used by low vision and CVD users, for example requiring to explicitly code the language of the page for screen readers; these requirements are not exclusive to statistical charts, but they are needed for those users accessing the chart content through a screen reader. For practical reasons the authors have decided not to include them in the list of heuristics, which has to be understood as complementary to WCAG.

3.1 Exploratory stage

As a first step, in order to obtain a very comprehensive list of indicators the authors carried out a thorough review of WCAG 2.1 and concomitant documents and tried to gather all criteria related to the subject of this work. This review focused its attention to success criteria of level A and AA, required by law in many countries, and ignored any criteria not related to charts or charts' interaction. The authors compiled a table including each relevant criteria together with a list of sufficient and advisory techniques associated to them, since they delimit and better define each success criteria, and a description of the implications of failure. The impact description was based on the information gathered from the document *Understanding WCAG 2.1* [39] and from other cited works, and mainly from authors' previous experience working with low vision users in other projects (see Table 1).

Table 1
WCAG 2.1 relevant success criteria

Success Criteria	Sufficient and Advisory Techniques	Implications of failure for users with low vision	Implications of failure for users with CVD
1.1.1 Non-text Content (A)	<p>G95: Providing short text alternatives that provide a brief description of the non-text content.</p> <p>G73: Providing a long description in another location with a link to it that is immediately adjacent to the non-text content.</p> <p>G74: Providing a long description in text near the non-text content, with a reference to the location of the long description in the short description.</p> <p>G92: Providing long description for non-text content that serves the same purpose and presents the same information.</p>	When a textual alternative is not provided users with low vision that rely on a screen reader as a complement to other assistive technologies will not be able to access the information contained in the chart [10, 16–17, 23].	When the chart uses not safe colors and no textual alternative is provided for the color scheme, users with CVD will have difficulties to perceive the properties of data encoded through [7].
1.3.3 Sensory Characteristics (A)	G96: Providing textual identification of items that otherwise rely only on sensory information to be understood.	Users that rely on screen magnification to view the chart have a harder time navigating through their elements than users viewing the chart in its original size. If design relies only on sensory features and these are difficult to distinguish, this could result in important barriers to the use of the chart. Additionally, if shapes are not big enough, they could be difficult to differentiate [5].	-
1.4.1 Use of Color (A)	<p>G14: Ensuring that information conveyed by color differences is also available in text.</p> <p>G111: Using color and pattern.</p>	-	If information is conveyed exclusively through color, users with CVD could lose details of important features of the chart [5, 10, 17, 23].
1.4.3 Contrast (Minimum) (AA)	<p><i>In all cases</i></p> <p>G174: Providing a control with a sufficient contrast ratio that allows users to switch to a presentation that uses sufficient contrast.</p> <p><i>text is less than 18 point if not bold and less than 14 point if bold</i></p> <p>G18: Ensuring that a contrast ratio of at least 4.5:1 exists between text (and images of text) and background behind the text.</p> <p><i>text is at least 18 point if not bold and at least 14 point if bold</i></p> <p>G145: Ensuring that a contrast ratio of at least 3:1 exists between text (and images of text) and background behind the text.</p>	Low contrast graphical information or text is less accessible for low vision users, and in particular to the users with low contrast sensitivity [5, 16–17].	When selected colors do not offer sufficient contrast they act as a barrier for users with CVD [5, 16–17].

Success Criteria	Sufficient and Advisory Techniques	Implications of failure for users with low vision	Implications of failure for users with CVD
1.4.4 Resize text (AA)	<p>G142: Using a technology that has commonly-available user agents that support zoom.</p> <p>G146: Using liquid layout.</p> <p>G178: Providing controls on the Web page that allow users to incrementally change the size of all text on the page up to 200 percent.</p> <p>G179: Ensuring that there is no loss of content or functionality when the text resizes, and text containers do not change their width.</p> <p><i>Others techniques</i></p> <p>Providing large fonts by default.</p> <p>Avoiding justified text.</p> <p>Providing sufficient inter-line and inter-column spacing.</p> <p>Avoiding the use of text in raster images.</p> <p>Ensuring that text in raster images is at least 18pt.</p>	<p>If font size is too small and it cannot be amplified, legibility is not ensured [5, 16–17].</p> <p>If font size is coded with absolute units or the layout is not responsive, magnifiers reducing the visual area could result in overlapping content, horizontal scrolls or elements disappearing from the users' view [5, 16].</p>	-
1.4.5 Images of Text (AA)	<p>G140: Separating information and structure from presentation to enable different presentations.</p>	<p>Text images do not allow customization of font family, font size, color, etc., hindering its perception for low vision users [5] [16].</p> <p>Additionally, bitmap images of text lose resolution when magnified. [2].</p>	<p>Some users with CVD use a personal CSS on the browser to personalize colors. This will have no effect on image text. [2].</p>
1.4.11 Non-text Contrast (AA)	<p><i>Graphics with sufficient contrast</i></p> <p>G209: Provide sufficient contrast at the boundaries between adjoining colors.</p> <p>G18: Ensuring that a contrast ratio of at least 4.5:1 exists between text (and images of text) and background behind the text.</p> <p>G145: Ensuring that a contrast ratio of at least 3:1 exists between text (and images of text) and background behind the text.</p> <p>G174: Providing a control with a sufficient contrast ratio that allows users to switch to a presentation that uses sufficient contrast.</p>	<p>When foreground and background contrast in both text and graphical elements is not enough many users could not be able to distinguish figure elements or to read content [5, 16].</p>	<p>When color is used to encode variables and the different values do not offer sufficient contrast users with CVD may not be able to distinguish them [5, 16].</p>
1.4.12 Text Spacing (AA)	<p>Line height (line spacing) to at least 1.5 times the font size; Spacing following paragraphs to at least 2 times the font size; Letter spacing (tracking) to at least 0.12 times the font size; Word spacing to at least 0.16 times the font size.</p>	<p>Low line spacing could hinder legibility [5].</p>	-
2.1.1 Keyboard (A)	<p>G202: Ensuring keyboard control for all functionality.</p>	<p>Screen reader users rely on keyboard to navigate the content, so when elements only react to mouse interactions, they become useless [40].</p>	-
2.1.2 No Keyboard Trap (A)	<p>G21: Ensuring that users are not trapped in content.</p>	<p>Screen reader users may only be able to navigate by keyboard, and a keyboard trap will be a dead end for them [40].</p>	-
2.4.3 Focus Order (A)	<p>G59: Placing the interactive elements in an order that follows sequences and relationships within the content.</p>	<p>If users rely on text to speech output to access graphical elements, a wrong order can be very confusing [40].</p>	-
2.4.6 Headings and Labels (AA)	<p>G130: Providing descriptive headings.</p> <p>G131: Providing descriptive labels.</p>	<p>Not providing textual elements such as title, legends, captions or labels can hinder chart comprehension for low vision, CVD and any other user [10].</p>	-

Success Criteria	Sufficient and Advisory Techniques	Implications of failure for users with low vision	Implications of failure for users with CVD
2.4.7 Focus Visible (AA)	G149: Using user interface components that are highlighted by the user agent when they receive focus. G195: Using an author-supplied, highly visible focus indicator.	Users can be lost without an indication of their current point of focus, and usually zoom interaction implies constant zooming in and out with important changes of context [5].	-
2.5.1. Pointer Gestures (A)	GXXX: Do not rely on path-based gestures. GXXX: Do not rely on multipoint gestures. GXXX: Provide controls that do not require complex gestures and perform the same function as complex gestures. GXXX: Single-point activation for spatial positioning and manipulation.	Following a path or multipoint interaction can be complicated on a zoomed screen [8].	-

As a second step the authors carried out a literature scope review about statistical charts accessibility for low vision and CVD users [10], in which they confirmed that previous research covered quite notably accessibility of charts for blind users but paid very low attention to the needs of users with low vision or CVD.

Solutions provided in the literature to promote the accessibility of charts include the creation of textual alternatives, haptic alternatives and sonification as strategies to convey chart information and even the combination of two or more of these strategies to offer multimodal access to the content. Relating textual alternatives, a wealth of research deals with methods to automate the creation of summaries or long descriptions of charts. Relating sonification, research has studied how sounds and vibration can convey, particularly to blind users, trends and quantitative or qualitative information. Finally, tactile alternatives are used from long ago, and rely on Braille and different kinds of embossing paper to generate accessible versions of charts, mainly for blind users.

Although the proposed alternatives for blind people could also benefit people with low vision and CVD, this user group keeps some visual faculties and wants to use them on their daily activities [41], which is not exploited in the above mentioned solutions. Taking into account this lack of studies for low vision needs, the initial literature research scope was redefined to include accessibility solutions for low vision, not necessarily related to statistical charts. A summary of the relevant information obtained during the exploratory stage is described in the following sections. It is organized within three categories: information, presentation and behavior.

3.1.1 Information

Within this category there are all the elements which help explain the chart content. Statistical charts include several characteristic components that confer them precision, order, clarity and communication ability [42]; these elements include the title, the axes, legends, symbols and labels. For the sake of comprehensiveness captions can also be included in this category as they include rich and explanatory content about the chart [43–44], This is due to that they often contain the most important research results [45] or relevant data necessary for the understanding of that content. All these elements have an important role to help understanding the message and data communicated by the chart.

Quantitative axes show the range of numerical values of the displayed variable. Categorical axes show different values of the dataset, often resulting from some aggregation (countries, products lines, users' groups, etc.). Feria [42] recommends to never hide the axes or labels for aesthetic reasons. Often the axes extend into a chart grid that helps the user to visually identify the value of each mark. Feria recommends regulating the density of the grid looking for an equilibrium between clutter and informativeness. Labels of the axes, if correctly and clearly written, purvey the meaning of the chart by themselves beyond title or caption. For excellent comprehension it is recommended to include their units and precision level (e.g., thousands of gallons, millions of years) on the title of the axes.

Legends are key to unequivocally interpret the encoding, making transparent the relation between numerical values with a color scheme, for example. Legends can be offered as an external, general key to all possible values, or inside the chart, close to each mark. Evergreen and Metzner [21] recommend to label data directly, close to marks (on top of or next to bars and next to lines), as they reduce cognitive load and foster a more efficient information processing. For Knaflic [46] data labels themselves can help to draw attention to certain data points, so they are useful if the data values are important. In this case it is possible to eliminate axes and instead label the data points directly to avoid the inclusion of redundant information. However, if users have to focus on big-picture trends, Knaflic recommends preserving the axes, to decide between both options authors may consider the required level of specificity. Additionally, comments, annotations or explanations enrich the chart with textual information providing context information.

Finally, image captions, contribute a brief comment or explanation to the accompanying chart. Although many times they simply complement the title, their objective is not to repeat it but to contribute to a better understanding of the chart [47], including its purpose [48] when they include additional information. Several authors emphasize the importance of captions to understand a graphic [44, 49–50], as it offers a synthesis of the most important aspects displayed

in the chart, and its principal conclusions [45]. Splendiani [23] collected some recommended information to include in captions derived from style guides and scientific editorials, which for statistical charts consist of: identifying and explaining labels, abbreviations, data sources, usage rights and units and describing details of statistical analysis (standard deviation, p value, etc.).

The need to include alternative text and long descriptions has already been described in the section analyzing WCAG. In the case of charts, alternative texts cannot be used to describe the content (it requires longer explanations) and it just serves to briefly inform about the contents of the chart and to help users decide if they want more information about it [51].

In the literature, the most common approach to provide an accessible solution to a chart is to provide an alternative as a data table, especially when dealing with blind users [19]. As a drawback, tables do not show so efficiently trends, variable comparisons, and therefore require more short-term memory workload and a bigger cognitive load when trying to reach conclusions or insights from the data. In fact, one of the main benefits of displaying information through a chart is to make invisible information visible [52]. As an advantage, tables are sometimes a required complement; for example, to bitmap images where values are not readable by screen readers, in order to be able to lookup a specific value; W3C [51] includes data tables in its proposal for long description of statistical charts.

Long descriptions, on the other hand, enhance the chart understanding for users with low vision and other users' profiles that may not be able to understand the graphical content. Long descriptions could be offered on an external web page, within the alt attribute or just after the chart as part of the web page content [53], this last option being the one preferred by users [54]. Ault et al. [55] argue that a well written long description could serve, by itself, as an actual alternative rich enough to ensure a good level of accessibility for statistical charts. Corio and Lapalme [56–57] consider them a rich complement to understand the message communicated by the chart. In any case, as repeatedly argued in the article, visualization has some advantages never attainable with textual alternatives.

3.1.2 Presentation

This level includes all aspects related to the visual display of the chart: layout, text composition, typography, color use, among others.

Legibility is an important feature of content. According to Legge [58], a good legibility means that users can perceive text and to distinguish a character from another without ambiguities. The more distinguishable, the more legible. Previous research targeted to low vision users and elderly people, provides hints on how to display text to accommodate the needs of these users. Some of the mentioned features, directly affecting legibility, are font family, font size, contrast [59], text align and spacing. On the web context there are many mechanisms to personalize or customize these features.

In the literature there is no consensus on which font family is better for low vision users, although there is general agreement to recommend sans serif typographies such as Arial, Helvetica, Courier or Verdana, rather than serif font families such as Times New Roman [60]. All recommendations agree on not recommending decorative or fantasy font families. Organizations related to vision have even created specific fonts for low vision users, the American Printing House for the Blind (APH), developed APHont.

The Scientific Research Unit of the Royal National Institute of Blind People developed the Tiresias font. To the authors' knowledge there is only one study comparing the performance of Tiresias to more common font families, and it does not demonstrate better results [61]. The Laboratory of Cognitive Technologie, in Marseille, France, developed Eido, focused on making letters simple and different as well, while being still recognizable by common readers. Bernard et al. [62] present an experiment where Eido is useful for people with central field of vision loss (such as macular degenerative) but with no effects in reading speed compared to Courier font family.

Also related to the font family and taking into account that statistical charts often display a big proportion of numbers in labels, legends or even titles, it is very important that numbers are very distinguishable between them and with letters. A typical example of confusing representations are the characters 1, l letter and lowercase i. This requirement may be more important than other considerations.

Left align and flush left, promote a regular reading pace and a better legibility [63], while justified text may cause bigger difficulties, due to the white space "rivers" generated by irregular spacing [5]. This does not apply to number alignment in tables, where it is important for the same units to be aligned. Kerning, word spacing and line spacing [64–65] are also relevant, in particular to users with central field loss [66]. Regular letters are the most legible, and therefore it is not recommendable to include a great proportion of italics or capital letters [5]. Low vision users benefit from big font sizes, above 14 dots and preferably between 16 and 18 dots [60], and with the possibility to increase them through the browser options or through their assistive technology. Offering personalization is a good practice because it is the easiest way to satisfy the specific needs of every user, that cannot be identical to the established good practices [67]. For example, people with peripheral vision field loss but with a good vision acuity prefer using smaller font size, in order to read more text on their constrained field of view [5].

Column width may affect legibility for users with low vision. In particular, too long lines require an additional effort to users with reduced vision fields, as they have to make more horizontal and vertical movements [5]. In this direction, when a word is cut at the end of the line, it is better not to use syllabification as it derives on a higher difficulty to read and understand the text [5].

Elements layout must follow Gestalt principles. Related elements must be grouped, for example the title should be close to the chart it describes [5], and non-related elements must be separated by spaces and margins.

When the different textual elements (title, legends, captions, axes, labels, etc.) on screen are differentiated only by size and the user applies zooming, the originally bigger ones may appear too big and do not fit on screen. It is therefore recommended to combine several attributes to differentiate elements such as color, underlining or font family [5].

When the chart is provided as a bitmap authors must pay special attention to the file format. A file format is a standardized way to codify the digital information which defines the structure and the type of data stored on a file. Among the most popular file formats for graphics in the web it is worth mentioning JFIF (JPEG File Interchange Format), a lossy format standardized by the Joint Photographs Committee, and PNG (Portable Network Graphics), a lossless format, open standard, created by the W3C to substitute GIF, subject to some proprietary restrictions. JFIF is well known for its ability to display photographic images with a high level of compression, obtaining high quality pictures with very small size files; on its side, PNG has a better compression performance when used on images with big areas of uniform color (charts, icons, flags, etc.) with even higher compression rates than JPEG. PNG is also better when dealing with images combining both text and flat colors. JPEG is a lossy format, which means that, in order to reach a high compression, it loses some details of the original image that will be unrecoverable; this may result into a lower quality or may cause some “image artifacts” on big uniform areas. Consequently, if the original chart mainly uses flat colors and there is not a high demand of compression the recommended format is always PNG. Both formats accept different levels of compression to adjust quality, with less compression fostering fidelity and high compressing reducing file size. In summary, it is preferable to use lossless formats or if needed, use lossy formats but with a low level of compression which does not affect the output quality.

In bitmap images, quality is the result of file format, type and level of compression, as we have seen, but also of pixel size, resolution and bit depth [23]. In the context of this article it is important for source images to have a size big enough to be zoomed x2 without losing clarity, this is without pixelation or blurring. Resolution is the number of pixels divided by longitude, indicated in pixels per inch (ppi) or dots per inch (dpi). Different screens may show the same graphic at different sizes because screens have their own resolution as well. Independently of the screen, when an image has a bigger resolution it can display a bigger quantity of differentiable details. Some recommended thresholds are 150 dpi for screen and 300 dpi for printing, but this does not consider the zoom requirements. These resolution demands depend also on the complexity of the chart, and the density of elements displayed in it; very simple charts with one or two big elements will go with lower resolutions. Bit depth is defined as the number of bits per pixel used to codify the color. Color may be codified from a lookup table with 8 bits (only 256 different colors) or as true color codifying each color channel (RGB) with 8 bits (255 values) plus, optionally, 8 more bits to codify transparency (alfa channel), resulting in a bit depth of 24 or 32 respectively.

For vector images, the format most widely used is SVG (Scalable Vector Graphics), a W3C recommendation based on XML. Vector images, as opposite to bitmaps, can be magnified as much as desired without losing quality, because they are not rendered by pixels but by instructions, independent of the size. SVG format offers far more accessibility options than bitmaps in many contexts [2]. To mention some of the benefits, it can be started by its standardization and integration on the web pages Document Object Model (DOM), which allows to manipulate and customize them as any other HTML element and makes them compatible with assistive technology including screen readers [68]; the separation between structure, content and presentation [69]; the possibility to use ARIA roles or attributes for every SVG element which may transmit very detailed information about attributes and values included in the chart in particular, W3C has developed some ARIA roles and attributes specific for statistical charts [70–71]. On the visualization landscape, SVG is used by D3 and its derivative libraries Vega and Vega-Lite.

Color is an essential attribute of charts and plays a crucial role in statistical charts’ accessibility. Beyond safe color and contrast issues, required by WCAG, scientific literature has studied color effectiveness to communicate statistical attributes. According to Ware [72], color is effective to differentiate qualitative variables, ordinal or nominal ones, but much less effective to communicate quantitative values. According to Mackinlay [73] when dealing with ordinal categories humans distinguish colors preferably by saturation (intensity of color) and then by hue (red, green, etc.). On the contrary, when dealing with nominal categories, hue is predominant.

Olson and Brewer [74–75] studied the use of colors in maps considering people with CVD needs. They researched several color schemes for sequential, divergent or categorical values and tested them under CVD conditions to offer some restricted color safe combinations. The term “color safe” refers to those colors that, combined, are distinguishable by people with CVD. To disseminate their work Brewer has created a free online tool, Color Brewer, that let users choose a pertinent color schema under her own preferences (number of colors, type of values, color safe, etc.). Brewer schemes have been adopted by D3, Tableau and many other visualization tools.

Other authors, from the fields of optometry, HCI or information visualization, studied the utility of colors for specific tasks such as time series evaluation [76–77], or big data statistical judgement [78].

It is worth mentioning that safe color schemes do not consider contrast requirements set in WCAG, more severe, and focused on color luminance (difference to the ambient white light). Many users, with age, lose retinal rods and are unable to clearly perceive colors with low contrast. This requirement is set by success criteria 1.4.3 and 1.4.11 within WCAG 2.1, relating foreground and background text contrast and adjacent graphical elements respectively.

3.1.3 Behavior

Specific interface features related to chart interaction are described in this section.

Safe magnification

Although a chart provides typography with the correct font size, according to W3C guidelines and to abovementioned best practices, different vision acuity and field of vision coverage among low vision users may imply the need to further customize the zoom level or text size through web browser standard tools or through their own assistive tools. It is therefore paramount when using those additional resources for the content to still be viewable, and that elements do not overlap or shrink which would impede a correct view or reading [5].

Tooltips are short messages providing additional information on an element or a widget, fired when this element receives the cursor or mouse focus. Joyce [79], states some requirements for them to be accessible: a) as by default tooltips are hidden, it is not advisable to include vital information in them; b) restrict their use to situations where the given information is useful and concise; c) use them consistently through all the charts; d) make them compatible

with mouse and keyboard as well; e) use arrows, as in comic bubbles, to help users recognize which element does the tooltip refer to; f) ensure a sufficient contrast; g) avoid hiding or hindering other related elements with the tooltip –this last recommendation also contemplated by Van Achterberg [80].

Printing

Reading on screen may introduce additional difficulties for some low vision users. It is common for these users to read from a very short distance from the screen which means a very harsh position causing fatigue [5]. Taking this into account, it is recommended to offer the possibility to print the content, and ideally personalized to the user to cover their particular needs [5]. Often the printed version is just black and white, and the chart readability is compromised, as sometimes color is the only means to transmit a particular data feature; this adds the need to use colors wisely and to offer sufficient contrast.

Customization

Overall, and taking into account the high variability of profiles, needs and requirements of low vision users, customization of the chart perceptual components (colors, typography, size, alignment, etc.) should be a desired offering on an accessible chart. Customization could be offered by the chart creator, through the selection of different style sheets controlling font family, color schemes and font size, among others, through assistive technology, or through specific API or software libraries, as for example, Infusion by the Inclusive Design Research Center in Canada, a plugin that any webmaster can add to their website which allows the readers to customize text size, font family, spacing or to apply high contrast colors. When customization is made through assistive technology it is paramount that the code and scripts are standardized and tested for compatibility issues; when compliant, users would be able to access and manipulate content and styles from their own tool.

Real-time updates

Some charts depict very time-dependent information, such as election results, sport results or stock numbers, and this information varies automatically along time. These changes must be communicated to the user, but the authors must try not to disturb or interrupt users too much or decide to delay communication until changes occurred affect a task in hand. In order to do so, the chart author must decide whether to interrupt the user or not, the level of data aggregation when communicating changes, etc.

Data export

Parallel to printing, exporting the chart to different formats is important to tackle different needs and profiles of the target audience. Some of the suitable formats are the raw data as an Excel or Comma Separated Value file, or the chart in PNG, JPG or SVG. These options will allow the user to read the chart with their preferred tool, or even generate a haptic version with an embossed printer from the SVG file.

Voice interaction

The possibility to interact with the chart by voice commands may benefit blind users, users with low vision and other profiles such as users with motor impairments. This implies that the chart is coded in actual text and all elements are correctly identified and described.

Sonification

Finally, much of previous research deals with “sonification” techniques, defined as an information representation based on sound, not including voice [81]. Some works explored mapping charts to musical sounds [82], vibrations [83], using sounds to communicate trends [84] or using volume, pitch and position to represent quantitative and qualitative values [85]. Those options showed some good results for line charts or area charts, but they are not as useful for scatter plots [86]. Sonification is particularly suitable for blind users, while it does not fit very well for users with low vision needs except when they have very limited sight.

3.2 Experimental stage

The objective of this stage was to analyze data obtained from several previous experiments to retrieve additional information not identified during the first stage (exploratory stage). However, the authors did not find any previous research with a focus on statistical charts accessibility for users with low vision or users with CVD, therefore, knowing that this was an optional stage, this stage was skipped and the efforts were focused on later stages.

3.3 Descriptive stage

In this stage the focus was on selecting and prioritizing the most important questions identified within the information collected during stage 1 (exploratory stage) and 2 (experimental stage). In this sense, all aspects relevant for the creation of the heuristic indicators were collected and selected. Table 2 shows the information collected.

Table 2
Information collected and selected related to accessibility for statistical charts

Topic	Collected information	Selected information
Success criteria from WCAG 2.1	1.1.1 Non-text Content 1.3.3 Sensory Characteristics 1.4.1 Use of Color 1.4.3 Contrast (Minimum) 1.4.4 Resize text 1.4.5 Images of Text 1.4.11 Non-text Contrast 1.4.12 Text Spacing 2.1.1 Keyboard 2.1.2 No Keyboard Trap 2.4.3 Focus Order 2.4.6 Headings and Labels 2.4.7 Focus Visible 2.5.1 Pointer Gestures	15 success criteria identified in the first stage were selected. All of them describe features to be met by statistical charts in order to fulfill the needs of users with low vision and CVD.
Features and components of statistical charts that may act as an accessibility barrier for users with low vision or CVD when not designed properly or not following best practices.	<p>Information</p> Titles [19, 42], axes [19, 42], scale and legends [42], labels [42], captions [44–45, 47, 50], abbreviations [23], details of the statistical analysis [23], data source [23], data table [19], short text alternative [55], long descriptions [39, 51], summary or abstract of the chart [56–57]	All the aspects considered in the literature review, which were introduced in Sect. 3.1.1, 3.1.2 and 3.1., were evaluated as relevant and included in the selection. However, given the large number of features collected the authors envisage the need to aggregate or unify some of them in a unique indicator.
	<p>Presentation</p> font family [60, 62, 66], flush left [5, 63], letter spacing (tracking) and word spacing [64–66], not include a lot of italics, small caps or capital letters [5], font size [60], line width [5], syllabification [5], space following elements [5], zoom [5], customization [5], safe colors [72, 74–78], image quality [23], print version [5]	
	<p>Behavior</p> Tooltips [79–80], sonification [80, 83–86]	

3.4 Correlational stage

In the correlational stage, Quiñones et al.'s methodology [38] was used to map features and functionalities of the heuristic evaluation domain with attributes coming from the usability and user experience fields, as well as with additional pre-existing heuristic indicators, in an attempt to reconcile domain features and functionalities with user experience and attributes related to them.

Several authors have already proposed to match accessibility and usability guidelines [87–89] mainly trying to relate WCAG and Nielsen's heuristics [28] concluding that there is a clear correlation between both. In this research, taking into account that the target domain is very restricted, the authors decided to try to match the indicators with Nielsen's heuristics, with the heuristics and principles proposed by Koivunen and McCathieNeville [16], Evergreen & Emery [20] and Boudreau [15], Brajnik [17] and also with WCAG 2.1 success criteria, the first being more versed on graphical content while the last being the reference document for web accessibility. There is also a match between the different identified aspects with the different levels of vision and with pathologies related to low vision, in order to ensure a coverage of different needs through the indicators. Finally, the resulting heuristics are grouped into 5 categories: good practices, textual alternatives, color and contrast, legibility, and additional features and functionalities.

The resulting list (Table 3) includes many indicators, specific to statistical charts and their elements (axes, legends, data source, etc.) which do not find a counterpart in any other guideline; this result was expected due to the specificity of the domain of our list, and the broader scope of Nielsen's heuristics, WCAGs or even Koivunen and McCathieNeville [16] oriented to any type of chart.

Table 3
Matches among detected features, user profile who benefits from it and existing heuristics

Feature	User profile	Category	WCAG success criteria	[16]	[20]	[15]	[17]	[28]
Title	Any user	Good practices	2.4.2. Page Titled.	Provide navigation tools and orientation information in pages to maximize accessibility and usability. H5: Provide semantics for structure.	6-12-word descriptive title is left-justified in upper left corner.	H2: Navigation and wayfinding.	-	H1: Visibility of system status.
Axes	Any user	Good practices	-	-	Text size is hierarchical and readable. Text is horizontal. Labels are used sparingly. Axes intervals are equidistant. Axes do not have unnecessary tick marks or axes lines. Graph has one horizontal and one vertical axes.	-	-	-
Scales	Any user	Good practices	-	-	Labels are used sparingly. Proportions are accurate.	-	-	-
Legend	Any user	Good practices	-	-	Data are labeled directly.	-	-	-
Labels	Any user	Text alternatives	-	-	Labels are used sparingly.	-	-	-
Caption	Any user	Good practices	-	-	Subtitle and/or annotations provide additional information.	-	-	-
Abbreviations	Any user	Good practices	3.1.4 Abbreviations.	-	H5: Provide semantics for structure.	H6: Language and readability.	Acronyms and abbreviations without expansions.	H2: Match between system and the real world.
Details of the statistical analysis	Any user	Good practices	-	-	-	-	-	-
Data source	Any user	Good practices	-	-	Text size is hierarchical and readable.	-	-	-
Tables	Screen reader users	Text alternatives	1.1.1 Non-text Content	Provide text (including text equivalents). H1: Provide alternative equivalents.	-	H10: Visual and auditory alternatives.	Data tables with no structural relationships Data tables with no summary.	-

Feature	User profile	Category	WCAG success criteria	[16]	[20]	[15]	[17]	[28]
Short alternative text	Screen reader users	Text alternatives	1.1.1 Non-text Content.	Provide text (including text equivalents). H1: Provide alternative equivalents.	-	H10: Visual and auditory alternatives.	Image maps Functional images lacking text Rich images lacking equivalent text.	-
Long description	Screen reader users	Text alternatives	1.1.1 Non-text Content.	Provide text (including text equivalents).			Image maps Functional images lacking text Rich images lacking equivalent text.	
				H1: Provide alternative equivalents.	-	H10: Visual and auditory alternatives.		-
Abstract	Screen reader users	Text alternatives	1.1.1 Non-text Content.	Provide text (including text equivalents). H1: Provide alternative equivalents.	-	H10: Visual and auditory alternatives.	Functional images lacking text Rich images lacking equivalent text.	-
Font family	Any low vision user	Legibility	1.4.8 Visual Presentation.	-	-	H5: Contrast and legibility.	-	-
Alignment	Any low vision user	Legibility	1.4.8 Visual Presentation.	-	6-12-word descriptive title is left-justified in upper left corner.	H5: Contrast and legibility.	-	-
Word and letter spacing	Any low vision user	Legibility	1.4.12 Text Spacing.	-	-	H5: Contrast and legibility.	-	-
Italics and small caps	Any low vision user	Legibility	1.4.8 Visual Presentation.	-	-	-	-	-
Line width	Any low vision user	Legibility	1.4.8 Visual Presentation.	-	-	-	Excessively long lines of text.	-
Syllabification	Any low vision user	Legibility	1.4 Distinguishable.	-	-	-	-	-
Spacing following elements	Any low vision user	Legibility	1.4.12 Text Spacing.	-	-	H6: Language and readability.	-	-
Zoom	Any low vision user	Legibility	1.4.4 Resize text.	-	-	-	Text cannot be resized.	H3: User control and freedom.
Personalization	Any low vision user	Additional features	1.3 Adaptable.	Allow configuration and custom. H3: Provide user control for presentation by separating it from the rest of the content.	-	-	-	H3: User control and freedom.

Feature	User profile	Category	WCAG success criteria	[16]	[20]	[15]	[17]	[28]
Images of text	Any low vision user	Legibility	1.4.5 Images of Text.	Separate structure from presentation. H3: Provide user control for presentation.	-	H5: Contrast and legibility.	Functional images embedded in the background Functional images lacking text.	-
Image quality	Any low vision user	Legibility	1.4.5 Images of Text.	-	-	-	-	-
Safe colors	CVD users	Color and contrast	1.4.1 Use of Color.	Create documents that work even if the user cannot see and/or hear. H2: Provide means to select equivalent content.	Color is legible for people with colorblindness.	H5: Contrast and legibility.	Color is necessary.	-
Contrast	Contrast sensibility users	Color and contrast	1.4.3 Contrast (Minimum).	Create documents that work even if the user cannot see and/or hear. H2: Provide means to select equivalent content.	Text sufficiently contrasts background.	H5: Contrast and legibility.	Insufficient visual contrast.	-
Non-text Contrast	Contrast sensibility users	Color and contrast	1.4.11 Non-text Contrast.	Create documents that work even if the user cannot see and/or hear. H2: Provide means to select equivalent content.	-	H5: Contrast and legibility.	Insufficient visual contrast.	-
Focus visible	Any low vision user	Legibility	2.4.7 Focus Visible.	Create documents that work even if the user cannot see and/or hear.	-	H2: Navigation and wayfinding.	-	-
Print version	Any user	Good practice	-	H3: Provide user control for presentation by separating it from the rest of the content.	Color is legible when printed in black and white.	-	-	-
Tooltips	Any user	Text alternatives	1.1.1 Non-text Content. 1.4.13 Content on Hover or Focus.	Provide text (including text equivalents). H1: Provide alternative equivalents.	-	H3: Structure and semantics.	Excessively long tooltips.	H10: Help and documentation.

Feature	User profile	Category	WCAG success criteria	[16]	[20]	[15]	[17]	[28]
Sonification	Screen reader user	Additional features	-	Create documents that work even if the user cannot see and/or hear. H2: Provide means to select equivalent content.	-	-	-	-
Keyboard Accessible	Screen reader user	Additional features	2.1.1 Keyboard. 2.1.2 No Keyboard Trap.	Create documents that do not rely on one type of hardware. H4: Provide device independent interaction.	-	H1: Interactions methods and modalities.	Keyboard traps.	-
Focus order	Screen reader user	Additional features	2.4.3 Focus Order.	Provide understandable mechanisms for navigating within and between pages. H4: Provide device independent interaction.	-	H2: Navigation and wayfinding.	-	H1: Visibility of system status.
Pointer gestures	Tactile screen user	Additional features	2.5.1. Pointer Gestures.	Create documents that do not rely on one type of hardware. H4: Provide device independent interaction.	-	H1: Interactions methods and modalities.	-	H3: User control and freedom.

3.5 Selection stage

In this stage, the objective was to review the list of indicators created up to this point and decide whether to keep, adapt or delete them. This procedure is summarized in Table 4: the "Action" column indicates how the indicator will proceed to the final selection, and whether it will be adapted to the specific domain, combined with similar or overlapping indicators, kept as an indicator per se or deleted as it is already covered by another indicator or it is not relevant enough. The column "Applicability" indicates how important that indicator is within the scope of this research, deriving importance from its capacity to solve accessibility problems related to statistical charts, and to cover needs of the different user profiles included in user with low vision group. The three levels of importance in increasing order are: useful, important and critical.

Table 4
Heuristic selection process

ID	Heuristic name/explanation	Action	Set of existing heuristics / guidelines	Applicability
H1	The chart should have a brief and descriptive title in order to identify its content.	Adapt	[12, 15–16, 20, 28]	(1) Useful
H2	The axes labels describe the range of values of the variable or the different existing categories.	Combine with H3	[20]	(1) Useful
H3	There is additional information about the axes scales.	Combine with H2	[20]	(1) Useful
H4	There is a legend to describe the encoding mapping, such as color schemes, sizes, etc. that help users to interpret the marks.	Create	-	(1) Useful
H5	Labels.	Eliminate. Covered by H11	-	-
H6	There is a caption giving additional information about the chart in order to better understand the message and intention of the chart. It does not replicate the title.	Create	-	(1) Useful
H7	Abbreviations are developed both apparently and on the code.	Adapt	[12, 15–17, 28]	(1) Useful
H8	Statistical analysis detail.	Combine with H6	-	(1) Useful
H9	There is information about data source somewhere in the chart.	Create	[20]	(1) Useful
H10	Data is offered as a table, as an alternative to the chart.	Combine with H12	[12, 15–16]	(3) Critical
H11	The chart includes an alternative text, coded within the alt attribute, which briefly describes its content, and which acts as an identifier within a page with other charts or images.	Adapt	[12, 15–17]	(1) Useful
H12	The chart includes some type of long description, describing comprehensively the content of the chart, with the same purpose and offering the same information. If pertinent, this long description includes a table with all the chart data.	Adapt	[12, 15–17]	(3) Critical
H13	Summary.	Eliminate. Covered by H12	-	-
H14	Font family should be suitable for users with low vision.	Combine with H15-H20	[12, 15]	(2) Important
H15	Text is aligned to the left.	Combine with H14, H16-H20	[12, 15, 20]	(2) Important
H16	Leading will be at least 1.12 x font size and word spacing will be at least 1.16 x font size.	Combine with H14-H15, H17-H20	[12, 15]	(2) Important
H17	Do not overuse italics or small caps.	Combine with H14-H16, H18-H20	[12]	(2) Important
H18	Ensure optimal line length for readability.	Combine with H14-H17, H19-H20	[12, 17]	(2) Important
H19	Avoid syllabification.	Combine with H14-H18, H20	-	(2) Important
H20	White spaces and margins are sufficient to differentiate the different elements of the chart and for easy reading.	Combine with H14-H20	[12, 15]	(2) Important
H21	After zooming the chart until 200%, using common web browser tools, the chart should be legible without horizontal scroll.	Adapt	[12, 17, 28]	(2) Important
H22	Customization options for font size, color, contrast and other perceptual properties of the chart should be offered, or at least permitted.	Adapt	[16, 28]	(2) Important
H23	Images of text.	Eliminate	-	-
H24	Bitmap images should offer a sufficient quality level.	Create	[12]	(3) Critical
H25	There are at maximum 5 safe colors to encode categorical or qualitative variables. Alternatively, the chart uses patterns or textures as encoding.	Adapt	[12, 15–17, 20]	(3) Critical
H26	Contrast between text and background has a ratio of, at least 4.5:1.	Combine with H27	[12, 15–17, 20]	(3) Critical

ID	Heuristic name/explanation	Action	Set of existing heuristics / guidelines	Applicability
H27	Contrast between graphical elements and background has a ratio of, at least 3:1.	Combine with H26	[12, 15–16, 20]	(3) Critical
H28	When an element receives focus (either keyboard or mouse induced) its appearance changes and it is highlighted (changing its color, border, or other elements color or border).	Adapt	[12, 15]	(1) Useful
H29	Users are able to print the chart from the standard options or with a specific plugin, and the printed version is optimized for this media.	Create	[16, 20]	(1) Useful
H30	Tooltips.	Eliminate. Covered by H11-H12	-	-
H31	Sonification.	Eliminate. Not relevant enough for low vision	-	-
H32	Keyboard accessible.	Combine with H33-H34	[12, 15, 16–17]	(3) Critical
H33	Focus order.	Combine with H32, H34	[12, 15–16, 20]	(3) Critical
H34	Pointer gestures.	Combine with H32-H33	[12, 15–16, 20]	(3) Critical

In order to reduce the resulting number of indicators and keep them below the 20-threshold recommended by Quiñones et al. [33] several indicators have been merged. First, all principles related to typography and text composition have been merged in a unique indicator covering all of them under the umbrella principle of legibility (H14-H20). Second, H3 relating to axes scales and H2, axes recommendations have been fused in H2. The requirement to offer additional data about statistical analysis is combined with the caption indicator (H6), as caption is the most suitable place to include this information. Alternatives as tables (H10) are merged with long descriptions (H12) following the W3C recommendation to include a data table within the long description. The indicator requiring offering an abstract of the chart (H13), has been deleted, as long description may fit this need as well (H12). The indicator “text images” (H23) has been deleted and it will be taken into consideration for a higher or lower degree of compliance in all the heuristics related to textual elements. Contrast between foreground and background for text and graphical elements (H26 and H27) have been merged into one. The indicator H31 has been deleted because after reconsideration the authors saw that it is an interesting feature for blind people or people with very limited residual vision, but it is complicated to implement and does not have such a value for people with low vision. Finally, H32-H34 indicators, related to keyboard or tactile screens interaction, have been combined in a unique indicator analyzing the possibility to interact with the chart independently of the input method.

3.6 Specification stage

In the specification stage, the indicators obtained in the previous stages were formally defined. As a result of this definition, a total of 17 heuristic principles were obtained. Tables 5 to 21 show the formal specification of the new set of heuristics using an adaptation of the template suggested by Quiñones et al. [38].

Table 5
H1. Title heuristic

ID	1
Priority	(1) useful
Name	Title
Category	Good practices
Understanding the heuristic	This heuristic seeks to ensure that every chart includes a brief and descriptive title. Title will help users identify a chart among others appearing on the same page and thus will help them navigate through the charts.
Benefits	User profile who benefits: any user. Having a suitable title means offering a first approximation to the content of the chart and helps users to efficiently identify and recognize the information they are looking for when there are more than one chart on the same page.

Table 6
H2. Legend heuristic

ID	2
Priority	(1) useful
Name	Legend
Category	Good practices
Understanding the heuristic	This heuristic seeks to ensure that there are legends showing the encoding logic, when it consists on shapes, color schemes or line patterns for different values of any attribute.
Benefits	User profile who benefits: any user Legends help translate the encoding to values.

Table 7
H3. Axes heuristic

ID	3
Priority	(1) useful
Name	Axes
Category	Good practices
Understanding the heuristic	This heuristic seeks to ensure that chart axes (time, categories, values) are included in the chart and that axes labels are suitable and clear. Labels should be offered as actual text and not as an image of text.
Benefits	User profile who benefits: any user Axes help understand the data.

Table 8
H4. Caption heuristic

ID	4
Priority	(1) useful
Name	Caption
Category	Good practices
Understanding the heuristic	This heuristic seeks to ensure that there is a caption for each chart. The caption should contribute to the understanding of the chart.
Benefits	User profile who benefits: any user Chart caption, far from duplicating information, helps understanding the message communicated by the chart, offers a synthesis of the most relevant data and may also offer some conclusion or additional information.

Table 9
H5. Abbreviations heuristic

ID	5
Priority	(1) useful
Name	Abbreviations
Category	Good practices
Understanding the heuristic	This heuristic seeks to ensure that all abbreviations are developed to help understanding.
Benefits	User profile who benefits: any user.

Table 10
H6. Data source heuristic

ID	6
Priority	(1) useful
Name	Data source
Category	Good practices
Understanding the heuristic	This heuristic seeks to ensure that the chart informs about the data source.
Benefits	User profile who benefits: any user.

Table 11
H7. Print version heuristic

ID	7
Priority	(1) useful
Name	Print version
Category	Good practices
Understanding the heuristic	This heuristic seeks to ensure a printed version of the chart, optimized for this medium, to those users who may prefer applying it.
Benefits	User profile who benefits: any user. Having an optimized version for printing, allows users with low vision, to print it and avoid having to consult the screen with forced positions near the screen.

Table 12
H8. Short text alternative heuristic

ID	8
Priority	(1) useful
Name	Short text alternative
Category	Text alternatives
Understanding the heuristic	This heuristic seeks to ensure that every chart has an alternative text which briefly informs about the contents of the chart and help users decide if they want more information about it. If there is a long description associated to the chart (see heuristic 9) this text informs about it.
Benefits	User profile who benefits: screen reader users.

Table 13
H9. Long description heuristic

ID	9
Priority	(3) Critical
Name	Long description
Category	Text alternatives
Understanding the heuristic	This heuristic seeks to ensure that every complex chart offers a textual long description giving the same information as the chart.
Benefits	User profile who benefits: screen reader users.

Table 14
H10. Safe colors heuristic

ID	10
Priority	(3) Critical
Name	Safe colors
Category	Color and contrast
Understanding the heuristic	This heuristic seeks to ensure that users with different profiles of CVD can differentiate colors used in the chart.
Benefits	User profile who benefits: low vision and CVD users.

Table 15
H11. Contrast heuristic

ID	11
Priority	(3) Critical
Name	Contrast
Category	Color and contrast
Understanding the heuristic	This heuristic seeks to ensure perception of the different elements of the chart.
Benefits	User profile who benefits: users with low contrast sensitivity.

Table 16
H12. Legibility heuristic

ID	12
Priority	(2) Important
Name	Legibility
Category	Legibility
Understanding the heuristic	This heuristic seeks to ensure that all text included in the chart or accompanying it follows typographical and layout principles that foster legibility.
Benefits	User profile who benefits: any user with low vision.

Table 517
H13. Image quality heuristic

ID	13
Priority	(3) Critical
Name	Image quality (bitmaps)
Category	Legibility
Understanding the heuristic	This heuristic seeks to ensure that all charts, and in particular bitmaps, offer a sufficient quality for a clear visualization and also support a zoom of at least 200% without blurring or pixelation.
Benefits	User profile who benefits: any low vision user.

Table 18
H14. Resize heuristic

ID	14
Priority	(2) Important
Name	Resize
Category	Legibility
Understanding the heuristic	This heuristic seeks to ensure that the chart can be zoomed in until 200% without the need of any assistive tool and where zoomed all the content can be seen, there is no overlap and all original functionalities are available.
Benefits	User profile who benefits: any low vision user.

Table 19
H15. Focus visible heuristic

ID	15
Priority	(1) Useful
Name	Focus visible
Category	Legibility
Understanding the heuristic	This heuristic seeks to ensure that when an element of the chart receives the focus of the mouse or the keyboard, there appears some visible indication.
Benefits	User profile who benefits: any low vision user.

Table 20
H16. Device independent navigation heuristic

ID	16
Priority	(3) Critical
Name	Device independent navigation
Category	Additional features
Understanding the heuristic	For dynamic charts, this heuristic seeks to allow users to navigate between the marks and elements of the chart with keyboard, mouse or gestures.
Benefits	User profile who benefits: low vision and screen reader users. Also, for users with motor disabilities. Users can navigate through the marks, data labels, legends, axes, although they cannot use devices such as mouses that require eye-hand coordination, have trouble finding or tracking a pointer indicator on screen or have tremors using a mouse.

Table 21
H17. Personalization heuristic

ID	17
Priority	(2) Important
Name	Personalization
Category	Additional features
Understanding the heuristic	This heuristic seeks to allow users to customize the chart, by modifying the color scheme, the contrast or the text (font family, font size, line height, etc.)
Benefits	User profile who benefits: low vision and CVD. Customization is useful to ensure a good level of accessibility to a user profile as diverse as the low vision users.

Every evaluator will proceed to run the individual heuristic analysis reviewing the applicability of each heuristic. Each indicator will be scored on a 7-point Likert scale (from 0 to 6) [90], where respondents will be asked how much they agree or disagree with a set of statements, following the compliance levels shown in Table 22.

Table 22
Likert scale

Score	Level of compliance
-	Not Applicable (NA)
0	No compliance
1	Very low compliance
2	Low compliance
3	Acceptable compliance
4	High compliance
5	Very high compliance
6	Excellent compliance

Additionally, “Not Applicable” has been added to be used when the heuristic indicator is not suitable for the evaluated chart, as for example when a chart is black and white, and the heuristic is related to color hue.

In accordance with Pearce [91], there are substantial differences between the use of a more or less granular Likert scale in terms of number of statements. While a less granular scale allows for faster responses and clearer categories, it can also result in more bias or in frustration for the evaluators because their option is not represented on the scale. On the other hand, a highly granular Likert scale is more likely to have inclusive and exhaustive categories, and allows the collection of more precise data and more meaningful statistical results, with higher reliability and validity, and reduces the neutral and “uncertain” responses. However, with more granular scales, there is an associated complexity with the linguistic labels associated with each category, and the differentiation between them is not as clear. The psychometric literature suggests that having more scale points is better but that there is a diminishing return after around 11 points [92] and J. Sauro [93] suggested that having seven points tends to be a good balance between having enough points for discrimination without having to maintain too many response options.

After scoring, heuristics are weighed depending on their impact or severity into 3 levels: low impact (1), average impact (2), high impact (3). To decide which weight each indicator would have, the authors relied on the “Applicability” column of Table 4, from the selection stage. For a detailed description of each level impact the reader may refer to Table 23. It is worth mentioning that these three levels are not related to the three levels of conformity within WCAG.

Table 23
Weighting criteria for indicators

Criteria	Weight
If the chart fails the heuristic, one or more user profiles will not have a satisfactory user experience with the chart, mildly compromising its accessibility. If the chart succeeds at the heuristic the chart accessibility slightly improves.	x1
If the chart fails the heuristic, one or more user profiles will have serious difficulties to perceive the chart information, severely compromising its accessibility. If the chart succeeds at the heuristic the chart accessibility considerably improves.	x2
If the chart fails the heuristic, one or more user profiles will not be able to perceive the chart information, totally compromising its accessibility. This heuristic is key to provide access to the chart for one or more profiles.	x3

The score in the Likert scale is multiplied by the weight resulting in a weighted value, for every indicator. This obtained value is multiplied by 10. At the same time the maximum weighted value of the overall chart is calculated, taking into account that the maximum score for the “Not Applicable” indicator is 0, and 6 for all the others. Then the maximum is used to divide the previous number.

$$\frac{(\sum_{i=1}^n \text{assigned score} \times \text{weight}) * 10}{\sum_{i=1}^n \text{maximum score} \times \text{weight}}$$

3.7 Validation stage

The objective of the validation stage was to check the adequacy of the set of heuristic indicators taking into account their efficiency, via different experiments. Quiñones et al. [38] offer several options to validate the set of heuristics: validation through heuristic evaluation, validation through expert judgment and validation through user testing. In this research, the validation consisted of two experiments where four evaluators (the authors of the paper plus one experienced evaluator) assessed the charts using heuristic evaluation methodology.

After compiling a list and brief description of each heuristic, three evaluators carried out the first round of evaluations of a sample of 9 HTML charts^[1] appearing in the websites of two Catalan universities and in the Catalan University Quality Assurance Agency website [94] based on this list. This first experiment, which was more informal, acted like a training session on the methodology and helped the evaluators to become acquainted with the set of heuristics. After this experiment, the evaluators realized that assigning a score just by its value was too subjective and decided to enhance the description of every heuristic with a guide on how to assign scores. In this sense, the specification of each heuristic was complemented with a brief indication on how to meet it and with a checklist of aspects that should be observed during the evaluation. These new elements are detailed in the refinement stage (Table 24).

The second experiment, more formal, consisted of evaluating a sample of 35 statistical charts^[2] published in the digital version of the 5 newspapers with the biggest audience in Spain (*El País*, *El Mundo*, *ABC*, *El Periódico* and *La Vanguardia*), and in 2 international newspapers that are widely recognized as being good at information visualization (*The New York Times* and *The Guardian*) [95]. In this case, the analyzed sample contained both vector and bitmap charts. The selected newspapers were reviewed thoroughly during October 2019, and a sample of 5 charts was chosen from each one. Bar and line charts were the most common types of chart included; some pie charts were also included since, although their use is controversial, they are still a common chart, and the sample also contained a few variations of bar and line charts, which are also in widespread use. The exact distribution was: bar charts (14), line charts (13), pie charts (4), stacked bar charts (2), combined bar and line charts (1), and dot diagrams (1).

The results of the evaluation of each statistical chart were recorded using a specific custom-made template, which automatically calculated the final score. Each evaluator was given an Excel template for the evaluation of each chart. The template included a screenshot of the chart and its URL on sheet 1; questionnaire for scores on sheet 2 that also included a field for the evaluator to briefly describe the problems associated with each indicator; the final score was automatically calculated on sheet 3. Each evaluator carried out their evaluation independently and a final meeting was held to review everything, particularly the discrepancies. Charts were evaluated only once, and the standard deviation between scores for the same charts were calculated; this was helpful for detecting special cases to discuss. When a discrepancy occurred (a deviation higher than 2), the evaluators went deeper into the specific criteria used for scoring. The researchers did not detect any learning effect because they did not impose any order on the evaluation nor did they record the order each evaluator followed. In future experiments, the authors may consider measuring the learning effect together with the time taken for each evaluation in order to assess the practicality of the evaluation method.

The main accessibility problems detected by the evaluators were: the almost total lack of textual alternatives in the charts in bitmap format, a problem also found in SVG charts, in which standards such as WAI-ARIA were not used to label the marks (24 out of 35 bitmap and SVG charts); the use of insufficient or incorrect text alternatives when they were included (6 out of 11 charts with alt text); the poor use of visible indicators to highlight the elements that were the focus of the charts (9 out of 11 SVG charts); not supporting a keyboard interface (11 out of 11 SVG charts); an insufficient non-text contrast ratio in many of the analyzed charts (26 out of 35 charts); the use of a font size that was too small (35 out of 35 charts); and the non-systematization of the use of safe color palettes for people with CVD, which was a widespread practice, except in *The New York times* and *The Guardian*, which mainly complied with this requirement.

Based on these results, we can conclude that some of the problems detected by the evaluators in the experiments conducted during the validation stage were similar to the problems found by other authors (use of insufficient or incorrect text alternatives when they are included, the use of a font size that is too small and the non-systematization of the use of safe color palettes for people with CVD) [24-25]. Beyond these known problems, the set of heuristics proposed was not only practical and applicable to the domain, but also allowed the identification of additional problems not previously highlighted in the literature.

In this stage, the methodology was complemented and enriched by the calculation of several quality metrics proposed by Jiménez et al. [37]. Compared to the metrics proposed by Quifones et al. [38], those of Jiménez et al. are more easily quantified and ready to use through their corresponding formulas, giving the validation a more solid basis.

Jiménez et al. [37] suggested the use of several indicators to compare domain heuristics (d) with control heuristics (c). Domain heuristics refers to the final heuristics created during the process (Tables 5–21) and control heuristics refers to the initial heuristics identified during the exploratory stage. In this research, 14 WCAG 2.1 relevant success criteria level A and AA were selected as the set of control heuristics (Table 1).

^[1] The full list of analyzed charts from university websites is available at: <http://www.ub.edu/adaptabit/charts-accessibility/universities/>

^[2] The full list of analyzed charts from newspapers is available at: <http://www.ub.edu/adaptabit/charts-accessibility/press/>

- Ratio of unique problems. The relation of unique problems (that is, the number of different problems found) identified by the new set of heuristics in comparison with the control heuristics. If the ratio is bigger than 1 the new set identifies more unique problems:

$$\Phi_p = \frac{Pd}{Pc}$$

- Ratio of problem dispersion. The distribution of problems identified by each heuristic in the new set of heuristics in comparison with the control heuristics. If the ratio is bigger than 1 the new set has a more equilibrated distribution:

$$\delta_p = \frac{\delta_c}{\delta_d}$$

- Ratio of severity. The severity of problems identified with the new set of heuristics in comparison with the control heuristics. If the ratio is bigger than 1, the new set identifies more severe problems. For this ratio the researchers used the severity assigned to the new set of heuristics: (1) Useful, (2) Important and (3) Critical, and the severity assigned by WCAG: 3 (A), 2 (AA) and 1 (AAA):

$$\lambda_p = \frac{\lambda_d}{\lambda_c}$$

- Ratio of specificity. The specificity of problems identified with the new set of heuristics in comparison with the control heuristics. If the ratio is bigger than 1 the new set identifies more specific problems. To apply this ratio, two levels of specificity were established: the first level is assigned to the problems that apply to any type of website or application, and the second for those problems that only apply to statistical charts:

$$\varepsilon_p = \frac{\varepsilon_d}{\varepsilon_c}$$

The results for the indicators in this sample after the second evaluation was conducted [95] are:

- Ratio of unique problems: $340/134 = 2.54$, where 340 refers to the unique problems detected by the domain heuristics and 134 to the unique problems detected by the control heuristic. The ratio is much bigger than 1 and clearly indicates that the new set identified many more unique problems;
- Ratio of problem dispersion: $0.68/0.45 = 1.52$, where 0.68 is the standard deviation of the number of problems associated with each of the domain heuristics and 0.45 is the standard deviation of the control heuristics. The ratio is bigger than 1, indicating that the distribution of the final heuristics is relatively equilibrated;
- Ratio of severity: $0.76/0.71 = 1.07$, where 0.76 is the mean severity of the problems detected by the domain heuristics and 0.71 is the mean severity of the problems detected by the control heuristics. The ratio is slightly greater than 1, which means that the new set of heuristics identified slightly more severe problems;
- Ratio of specificity: $1.27/1 = 1.27$, where 1.27 is the mean specificity of the problems detected by the domain heuristics and 1 is the mean specificity of the problems detected by the control heuristics. The ratio is bigger than 1 as expected, because in WCAG there are many heuristics applying to general problems.

The previous metrics were calculated by the researcher in charge of the statistical analysis (RA) during the validation process.[1] With these indicator values, we can conclude that the proposed heuristics identify more unique problems, the problems are better distributed, more severe and specific than in the control set, and therefore the new set of heuristics is much more suitable for evaluating the accessibility of statistical charts

3.8 Refinement stage

The objective of the final stage (refinement) was to refine and verify the set of indicators based on the conclusions or comments resulting from the previous stage (validation). After the two experiments [94-95], a meeting was held to reflect on the methodology. As a conclusion of this meeting several descriptions were improved (Table 24), the researchers decided to use a shorter Likert scale (Table 25) as it was difficult to fine grain the score, and one indicator was added, i.e. H15 (Table 27), related to a new accessibility problem detected during the evaluations (see section 3.8.3).

A detailed explanation of the findings and decisions taken during this meeting follows.

3.8.1 Clarity of indicators

Some indicators were not entirely clear to all evaluators who had to conduct consultations during the evaluation process. For this reason, before the second experiment, additional information about each heuristic was added. For each heuristic principle, an additional checklist was developed with a list of items that must be checked (Table 24).

Table 24
Additional information added for each heuristic.

Heuristic	How to meet the heuristic	Checklist
H1	Complement the chart with a brief but descriptive title, preferably in text and not as an image.	<p>There is a title for the chart.</p> <p>The title is brief and descriptive.</p> <p>The title offers a first approximation to the content of the chart and differentiates this chart from others appearing on the same page.</p> <p>The title is actual text and not an image of text.</p>
H2	Include a legend which univocally associates color schemes, patterns, sizes or shapes used in the chart with their respective value. Offer the legend as actual text and not as an image of text.	<p>The chart offers an external legend or labels near every category mark.</p> <p>The legend explains the encoding used in the chart.</p> <p>The legend is offered as actual text and not as an image of text.</p>
H3	<p>Axes should be visible. They should include labels.</p> <p>They may include a grid as reference positions for marks depicted within the chart. The grid should not add clutter.</p> <p>Each axe should have a concise but sufficiently descriptive title. When pertinent this title must include the used units and the precision (i.e. thousands of gallons, millions of years...)</p>	<p>Necessary axes are included.</p> <p>Axes have labels.</p>
H4	If the chart is very simple skip this requirement. In this case, not having a caption does not cause any difficulty. If the chart is a bit more complicated, write a caption for the chart synthesizing the message communicated by the chart. The caption should be offered as actual text and not as an image of text.	<p>The chart has a caption.</p> <p>The caption does not replicate the title. It provides additional information.</p> <p>If appropriate, the chart includes details of the statistical analysis (standard deviation, p value, etc.)</p> <p>Caption is offered as actual text and not as an image of text.</p>
H5	<p>To use <abbr> element and put the full form in the code.</p> <p>To relate the abbreviation with its complete wording through a link.</p>	<p>Abbreviations are developed following a standard method supported by assistive tools.</p> <p>Developed forms are written as actual text and not as an image of text.</p>
H6	Preferably near the caption, the source (institution and dataset), date and also a link to it are given.	<p>Somewhere in the chart, preferably near the caption, there is information about the data source.</p> <p>The data source identifies the institution and links to the dataset where the data come from.</p> <p>The data source is actual text and not an image of text.</p>
H7	<p>Printing of the page containing the chart should be able to be visualized correctly. This is ensured through CSS styles.</p> <p>A version for specific printing optimized is offered outside the browser's native print options.</p>	<p>Users can print the chart in a version specifically optimized for this medium.</p> <p>The printed version has a good legibility.</p> <p>The printed version has a good legibility, even when printed on black and white.</p>
H8	The most common way to reach the goal of this heuristic is using the "alt" attribute inside the element. When the chart is coded in SVG, alternative texts can be written directly within the chart. Sometimes the attribute "aria-labelledby" can be used for this purpose.	<p>The chart has an alternative text..</p> <p>The alternative text is brief and descriptive</p> <p>The alternative text is not redundant with the title.</p>
H9	<p>Using the "longdesc" attribute, with a link to the long description which should be available, preferably, on the same page as the chart.</p> <p>Offering a link near the chart with a link to the long description.</p> <p>Giving the location of the long description within the alt attribute.</p> <p>Using the figcaption element, to include both the chart and the description.</p> <p>Giving the description just after the chart. This is the preferred option.</p> <p>A correct long description gives an abstract of the message conveyed by the chart, a data table with the values present in the chart and information about the display (used marks, axes, encodings...)</p>	<p>The long description provides detailed information about what is presented visually, including scales, values, relationships and trends.</p> <p>The data values are provided through a data table.</p> <p>The chart is structurally associated with the long description.</p>

Heuristic	How to meet the heuristic	Checklist
H10	To reach the goal of this heuristic the color scheme should be safe for the different types of chromatic vision deficiencies, including achromatopsia (total absence of color vision).	There is a maximum of 5 safe colors to differentiate qualitative, ordinal or quantitative variables. Alternatively, values are differentiated by patterns or textures.
H11	The visual presentation of text and images of text has a contrast ratio of at least 4.5:1. The visual presentation of parts of graphics required to understand the context have a contrast ratio of at least 3:1.	The chart is seen correctly for protanopia, deuteranopia, tritanopia and achromatopsia profiles. This can be checked with a simulation tool such as NoCoffee.
H12	In order to reach the goal of this heuristic, labels, captions, tables and descriptions are written on a suitable font family, use a correct font size and avoid overusing capitals, small capitals or italics. Line, letter and word spacing should also be adequate for legibility.	Text uses a font family suitable for low vision (Sans Serif). For example: Arial, Helvetica, Courier or Verdana, or fonts designed for low vision such as APFont o Eido. Although the recommended font size for legibility is 16px, on charts this is an almost impossible requirement. On the contrary, for this heuristic, legibility and reasonable size will be considered. Kerning and word spacing should be enough, line spacing should be 1.5. This heuristic is related to H14 which requires zooming without losing of quality. Text should be left aligned. Word hyphenation should be avoided. Lower characters and regular style are preferably used.
H13	In order to reach the goal of this heuristic, authors should pay attention to image size, resolution, bit depth, and format.	Image size (number of pixels): should be sufficient for a zoom of 200% without blurring or pixelation. Format: PNG preferably, or JPG with a suitable level of compression. Resolution: 150 ppi as a minimum Bit depth: 8 to 32 bits. All these technical details can be observed through the image properties or using specialized software such as MediaInfo.
H14	This heuristic means users can zoom in the chart with browser tools and that in doing so the layout is still logical, and all features of the chart are viewable and all functionalities available. In order to make the chart more adaptable it is recommended to use relative units (em, rem, percentages, etc.) instead of absolute units (pt, px, etc.).	When a chart is zoomed in 200%. There are not overlapped elements. Should be legible without horizontal scroll.
H15	The most common approach to reach this goal is using CSS to change the presentation of the elements when receiving focus. This criterium only applies to vectorial charts or charts implemented with JavaScript libraries, not to bitmaps, because in these no element is able to receive the focus.	On a vectorial chart when an element receives the focus of the keyboard or the mouse, the element is highlighted in some way.
H16	All events or interactions available on the chart should be device independent. This criterium only applies to vectorial charts or charts implemented with JavaScript libraries, not to bitmaps, because in these no element is able to receive the focus.	Navigate through the chart with the keyboard. Navigate through the chart with the mouse. Navigate through the chart with gestures.
H17	In order to reach this goal, the chart must follow the standards, for assistive technology with customization possibilities and support them. Alternatively, this goal can be reached, through a custom-made personalization system.	Review if the chart offers customization options. Use some assistive tool or a browser extension to personalize style sheets and test if it is possible to modify the chart.

3.8.2 Ease of performing the heuristic evaluation

The evaluators stated that they were comfortable with the indicators and the proposed evaluation methodology, but some evaluators argued that a new level of compliance in the Likert scale to indicate that failing is not a problem was necessary, for example, when the abbreviations are not developed, but are commonly used and well known by the audience.

Furthermore, all the evaluators agreed about the difficulty of applying a 7-point Likert scale. In this sense, it was proposed to use a scale of 5 points (Table 25). Some evaluators also agreed on the usefulness of having a scale with reference values to assign the score of each indicator and the authors are

now working on a guidance document including this. This is easily applicable to some indicators that evaluate objective problems such as image low resolution or bit depth, but somewhat more complex when it comes to assessing more subjective aspects such as the adequacy of a title or a text alternative.

Table 25
Final proposed Likert scale

Score	Level of compliance
-	Not Applicable (NA)
-	Failing is not a problem (NP)
0	No compliance
1	Low compliance
2	Acceptable compliance
3	High compliance
4	Excellent compliance

3.8.3 Completeness of heuristics set

The evaluators agreed that the heuristics contemplated were sufficient to carry out the evaluation and to detect all the accessibility problems present in the analyzed graphics, with the exception of an identified accessibility problem that could not be associated with any of them. During the evaluation, there were several charts that showed watermarks or advertising banners on the image preventing the total or partial vision of the object. Both watermarks and banners are two resources present on numerous websites, so it is likely that charts from other thematic areas also present these problems. Accordingly, it was proposed to add a new indicator associated with this problem. Tables 26 and 27 show the process of specification of the new heuristic.

Table 26
Heuristics to create, refine and/or eliminate

Heuristic	Problem	Action
H18 Without disturbing elements	After evaluating the charts in the press, evaluators discovered a watermark for copyright purposes, and many ads hindering important information from the charts. Particularly over bitmap charts. This is a bad practice. In the case of copyright, metadata should be used instead. In the case of ads, they should not compromise the perception of any important element in the chart.	Create a new heuristic

Table 27
Heuristic "With no disturbing elements"

ID	18
Priority	(3) Critical
Name	Without disturbing elements
Category	Legibility
Understanding the heuristic	Sometimes, media or content authors use watermarks over a chart, hindering its perception. Sometimes it is the editorial policy which demands to include ads or publicity. This heuristic seeks to ensure that any external element hinders the perception of the chart or of any important part of it.
How to meet the heuristic	This goal can be reached whether avoiding external elements to overlap the chart, whether including them –if they should necessarily be included– in a way that does not hinder the chart perception.
Benefits	User profile who benefits: any user.
Checklist	Review if a watermark, banner ad or any other external element hinders the visibility of the chart.

3.8.4 Lessons learned

In general, the feedback provided by the evaluators was positive. As previously discussed, the heuristic set seems sufficient to shed light on the accessibility problems of statistical charts.

One of the aspects that became apparent after the two experiments carried out in the validation stage is that charts in both bitmap and vector formats can present the same problems if they are not created following the principles of accessibility. That is, despite the initial advantage that vector charts have by not being images of text, or their compatibility with widely adopted standards such as WAI-ARIA, the reality is that, if these aspects are not taken care of, the

resulting product will not be accessible. This was the case in the majority of charts analyzed, which were therefore not focused on meeting the needs of people with disabilities. In contrast, charts in bitmap format with a title, alternative texts, long descriptions and taking into account the necessary color and contrast requirements, among the other factors included in the proposed heuristic set, may be equally or even more accessible for people with low vision.

Although the additional information on each heuristic collected in Table 24 is considered useful, the authors believe that having a more detailed guide, with examples of scores, will unify the evaluation criteria for evaluators. Another aspect that may be useful for new evaluators who wish to use the set of indicators proposed in this work is the availability of some examples of evaluations carried out on a set of charts that present the most common accessibility problems of the domain under study.

4. Results

In this research, the authors introduced a new accessibility tool, a heuristic checklist complementary to WCAG and focused on the accessibility of statistical charts for people with low vision and people with CVD. The indicators included in this work, as well as the developed tool, are a contribution to the evaluation of charts accessibility with a special focus on people with low vision and people with CVD which tries to compensate a lack of research in guidelines, standards and even recommendations for low vision people, who still benefit from some residual sight.

As a result of the methodology developed by Quiñones et al. [38] a set of 18 heuristics has been created. It has been validated with an experimental evaluation of 35 statistical charts and with the validation method proposed by Jiménez et al. [37]. The evaluation with charts helped identify many problems and some good practices. The validation following the procedure by Jiménez was very positive and all indicators revealed that the proposed set is more effective and efficient than the control heuristics.

The heuristics cover the range of needs of the different low vision and CVD profiles (see Table 28), and also include general best practices that benefit any user.

Table 28
Count of heuristic indicators per user profile

User profile	Specific heuristics for this profile
Any user	8
Moderate low vision (screen magnifier users)	5
Severe low vision (screen reader)	3
CVD	1
Contrast sensitivity	1

The main result of this research is the list of heuristics obtained, that is fully described in Sect. 3.6 Specification stage and slightly modified in Sect. 3.8 Refinement stage.

5. Discussion

Increasing efforts are being made to take into account the difficulties of different disability groups and providing them with accessible solutions, but there are some often forgotten groups such as cognitive impaired users or users with low vision. In particular, there is a lack of knowledge of low vision as a disability, both by institutions and large companies which causes this group not to be included when trying to address the barriers of access for people with visual disabilities. A clear example is the fact that the native screen magnification for Android was not available until the fourth version of the operating system, while the screen reader (Google TalkBack) was included since the first versions [96]. This lack of knowledge among society and technology is gradually being reduced with a better knowledge and more accessible solutions addressed to this user group. An example in the civil sphere is the campaign "I have low vision" by Begisare association, and by Association of affected Retinitis Pigmentosa of Gipuzkoa (Spain), or the incorporation to WCAG 2.1 of a new success criteria relating non-text contrast. Summing up, this research adds to a general trend to extend accessibility to wider user groups and to more domains like STEM disciplines [97].

The authors argue the need for specialized accessibility checklists to help not only accessibility experts or practitioners but also designers, content editors, or education managers to better create and evaluate STEM content, and in particular with this research, statistical charts. Heuristic checklists are not only useful for evaluation purposes, but they also serve as a guide for authors when creating new charts. Accordingly, the authors hope this tool also fulfils this additional mission and there will be an increment of accessible charts on the web.

In comparison with the WCAG and the heuristic sets proposed by Boudreau [15] and Koivunen and McCathieNevile [16], the heuristics proposed in this work are more specific. The checklist proposed by Evergreen & Emery [20] is equally specific, but it is not aimed to evaluate web accessibility, but rather the "development of high-impact data visualizations". Other initiatives, such as the Diagram Center guidelines, focus on blind and severe low vision people, and pays very low attention to the needs of low vision and CVD users.

6. Limitations And Future Work

One of the most critical stages when creating a set of heuristics following the methodology by Quiñones et al. [38] is validation. Among the three different tasks proposed in their methodology, validation through heuristic evaluation, validation through expert judgment and validation through user test, this research only tried the first one. Two experimental evaluations helped the research team to add a new indicator and refine the Likert scale. The research team could themselves be considered experts as they have worked with accessibility for a long time, and one of them is also working in information visualization.

Relating to user test, although users have not been included in previous research work during the creation of a set of heuristics, an actual user centered design requires them to take an active role during the process. Moreover, the research by Power et al. [98] shows that only half of the problems encountered by users are covered by WCAG, and that in some cases, even after following WCAG recommendations and techniques, the problem is not yet solved. Additionally, Lechner's research [34] shows that users are very valuable on specific domains, as in the area we are discussed, because they contribute with a new perspective and identify problems that experts are not always able to detect. Authors are working to incorporate users within the process as an important future work direction, in order to further validate effectivity and efficiency of the tool, and to end up with a set of heuristics which covers better the real needs of users with low vision or CVD.

While the objective of heuristic evaluations is to identify the accessibility/usability problems in a user interface [26], rather than obtaining a final score, another future line of work would be to complement the score obtained using the Likert scale by calculating the severity of the identified problems. Severity ratings can be used to prioritize the resolution of certain problems before the publication of a chart or in the process of redesigning the interface. For Nielsen [99], severity is a combination of three factors: frequency, impact and persistence. Brajnik [17] suggested considering just two of these parameters when estimating the severity of a barrier: impact and persistence. Brajnik classified problems under three categories or grades of severity, i.e. minor, significant and critical, and proposed using a scale of 1 (mild case) to 3 (worst case) for both impact and persistence to obtain the severity value. In a recent study [100], the authors incorporated these metrics to complement the purely quantitative assessment with a more qualitative approach, with interesting results, although more thought and actual users are necessary to refine the method used to rate the severity of accessibility problems with reliability.

Finally, another future line of work is the creation of tools to help evaluators while scoring a chart, looking to reduce effort and maximize harmonization between different evaluations.

7. Conclusions

The research presented shows a proposal of 18 heuristic indicators for a quantitative evaluation of the accessibility of statistical charts in the web. The set does not pretend to substitute WCAG criteria and success points because it is not linked to conformity. Nevertheless, there is a complementarity between both tools. With both not only experts but also content writers, publishers, researchers and those in charge of procuring content, with no substantial accessibility expertise, would be able to design, evaluate or choose the most suitable statistical charts to incorporate to their publications or websites.

Heuristic evaluation is a well-known and widely used usability inspection method with numerous examples published in the scientific literature. Heuristics help experts to better understand which aspects of the interface may be problematic for accessibility, and also provide them information on how to solve these problems [101]. Additionally, another benefit of heuristics is their low cost and quick application.

Statistical charts are becoming part of widespread digital literacy and are already a basic type of everyday information. Although there exist numerous proposals of general heuristics targeting usability, user experience or accessibility, the specificity of statistical charts and the particular needs of users with low vision or CVD increases the need to adapt existing indicators, and even to create new ones, in order to cover all problems related to this domain. This research is a first step in this direction and will help to create better charts.

Declarations

Conflict of Interest: The authors declare that they have no conflict of interest.

This research has been done in the framework of the PhD Programme in Engineering and Information Technology of the Universitat de Lleida (UdL). This research has been partially supported by the Spanish project PID2019-105093GB-I00 (Mineco/Feder, UE); Cerca Programme/Generalitat de Catalunya; and by Mineco Grant RTI2018-095232-B-C21 and SGR 1742.

References

- [1] UNECE (2009) Making data meaningful. Part 2: a guide to presenting statistics. United Nations, Geneva. https://www.unece.org/fileadmin/DAM/stats/documents/writing/MDM_Part2_English.pdf. Accessed 3 December 2019
- [2] McCathieNevile C, Koivunen M (2000) Accessibility features of SVG. W3C. <https://www.w3.org/TR/2000/NOTE-SVG-access-20000807/>. Accessed 4 December 2019
- [3] Meeks E, Cesal A, Pettit M (2019). Introducing the Data Visualization Society. Medium. <https://medium.com/datavisualization-society/introducing-the-data-visualization-society-d13d42ab0bec>. Accessed 4 December 2019
- [4] Miller S, Hughes D. (2017) The quant crunch: how the demand for data science skills is disrupting the job market. Burning Glass Technologies. Boston, Massachusetts. <http://hdl.voced.edu.au/10707/429131>. Accessed 4 December 2019

- [5] Allan J; Kirkpatrick A, Henry SL (2019) Accessibility requirements for people with low vision. W3C World Wide Web Consortium, Editor's Draft. <https://w3c.github.io/low-vision-a11y-tf/requirements.html>. Accessed 4 December 2019
- [6] Sarsenbayeva Z Van Berkel N, Luo C, Kostakos V, Goncalves J (2017) Challenges of situational impairments during interaction with mobile devices. In Proceedings of the 29th Australian Conference on Computer-Human Interaction (OZCHI '17). ACM, New York, NY, USA, pp 477-481. <http://dx.doi.org/10.1145/3152771.3156161>
- [7] Reinecke K, Flatla DR, Brooks C (2016) Enabling designers to foresee which colors users cannot see. In Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '16). ACM, New York, NY, USA, pp 2693-2704. <http://dx.doi.org/10.1145/2858036.2858077>
- [8] Yesilada Y, Brajnik G, Harper S (2011). Barriers common to mobile and disabled web users. *Interact Comput* 23, 5:525-542. <http://dx.doi.org/10.1016/j.intcom.2011.05.005>
- [9] Statista (2019) Percentage of all global web pages served to mobile phones from 2009 to 2018. <https://www.statista.com/statistics/241462/global-mobile-phone-website-traffic-share/>. Accessed 7 December 2019
- [10] Alcaraz Martínez R, Ribera M, Granollers T (2020). La accesibilidad de los gráficos estadísticos para personas con baja visión y visión cromática deficiente: revisión de alcance y perspectivas. *Interacción: revista digital de AIPO*, 1
- [11] WHO (2018) Blindness and vision impairment. Fact sheets. World Health Organization, Geneva. <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>. Accessed 4 December 2019
- [12] W3C (2018) Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1. <https://www.w3.org/TR/WCAG21/>. Accessed 4 December 2019
- [13] ISO (2012) ISO/IEC 40500:2012 Information technology – W3C Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0
- [14] ETSI (2018) ETSI EN 301 549 accessibility requirements for ICT products and services. European Telecommunications Standards Institute. https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/301500_301599/301549/02.01.02_60/en_301549v020102p.pdf. Accessed 13 December 2019
- [15] Boudreau D (2019). Supporting the design phase with accessibility heuristics evaluations. <https://cdn2.hubspot.net/hubfs/153358/Web%20Accessibility%20Quick%20Checklist%20for%20Designers.pdf>. Accessed 4 December 2019
- [16] Koivunen M, McCathieNevile C (2001). Accessible graphics and multimedia on the Web. World Wide Web Consortium (W3C)/MIT. <https://www.w3.org/2001/05/hfweb/heuristics.htm>. Accessed 4 December 2019
- [17] Brajnik G (2011). Barrier walkthrough. <https://users.dimi.uniud.it/~giorgio.brajnik/projects/bw/bw.html>. Accessed 19 June 2020
- [18] Gould B, O'Connell T, Freed G (2008). Effective practices for description of science content within digital talking books. "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. Accessed 4 December 2019
- [19] DIAGRAM Center (2015). Image description guidelines. <http://diagramcenter.org/table-of-contents-2.html>. Accessed 4 December 2019
- [20] Evergreen S (2018) Presenting data effectively: communicating your findings for maximum impact. SAGE, Thousand Oaks, California
- [21] Evergreen S, Metzner C (2013) Design principles for data visualization in evaluation. In Azzam T, Evergreen S (Eds.) *Data visualization, part 2. New directions for evaluation 2013*(140):5-20
- [22] Sanjines SCP (2018) Does it make a difference? data visualizations and the use of research and evaluation reports. Dissertation, University of Hawai'i at Manoa. <https://scholarspace.manoa.hawaii.edu/bitstream/10125/62374/2018-05-phd-sanjines.pdf>
- [23] Splendiani B (2015) A proposal for the inclusion of accessibility criteria in the authoring workflow of images for scientific articles. Dissertation, University of Barcelona. <http://hdl.handle.net/10803/386242>
- [24] Splendiani B, Ribera M (2014). Accessible images in computer science journals. *Procedia computer science*, 27, pp. 9-18. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.02.003>
- [25] Simon S, Becker BA, Hamouda, S, McCartney R, Sanders k, Sheard J (2019) Visual portrayals of data and results at ITiCSE. In ITiCSE '19: Proceedings of the 2019 ACM Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education, pp 51-57. <https://doi.org/10.1145/3304221.3319742>
- [26] Nielsen J (1994) How to conduct a heuristic evaluation. NN/g Nielsen Norman Group. Articles. <https://www.nngroup.com/articles/how-to-conduct-a-heuristic-evaluation/>

- [27] Sim G, Read JC, Cockton G (2009) Evidence based design of heuristics for computer assisted assessment. In: Proceedings of Human-Computer Interaction INTERACT 2009, pp 204-216
- [28] Nielsen J (1994). Enhancing the explanatory power of usability heuristics. Proc. ACM CHI'94 Conf. (Boston, MA, April 24-28), pp 152-158
- [29] Weiss E (1993) Making computers-people literate. Pfeiffer, San Francisco, Calif
- [30] Perlman G (1997) Practical usability evaluation. In CHI '97 Conference on Human Factors in Computing Systems. Association for Computing Machinery, Atlanta, GA, pp 168-169
- [31] Hub M, Čapková V (2010) Heuristic evaluation of usability of public administration portal. In Proceedings of the International Conference on Applied Computer Science, pp 234-239
- [32] Van Greunen D, Yeratziotis A, Pottas D (2011) A three-phase process to develop heuristics. In Proceedings of the 13th Annual Conference on WWW Applications, Johannesburg
- [33] H Rusu C, Roncagliolo S, Rusu V, Collazos C (2011) A methodology to establish usability heuristics. In Proceedings of the Fourth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions, ACHI2011, pp 59-62
- [34] H Lechner B, Fruhling A, Petter S, Siy H (2013) The chicken and the pig: user involvement in developing usability heuristics. In Proceedings of the Nineteenth Americas Conference on Information Systems
- [35] H Franklin F, Breyer F, Kelner J (2014) Heurísticas de usabilidade para sistemas colaborativos remotos de realidade aumentada. In Proceedings of XVI Symposium on Virtual and Augmented Reality, pp 53-62
- [36] Hermawati S, Lawson G (2015) A user-centric methodology to establish usability heuristics for specific domains. In Proc of the International Conference on Ergonomics & Human Factors, pp 80-85. <https://doi.org/10.1201/b18293>
- [37] Jiménez C, Allende Cid H, Figueroa I (2017) PROMETHEUS: PROcedural METHodology for developing HEuristics of USability. IEEE Lat Am T, 15(3):541-549. <https://doi.org/10.1109/TLA.2017.7867606>
- [38] Quiñones D, Rusu C, Rusu V (2018) A methodology to develop usability/user experience heuristics. Comput Stand Inter 59:109-129. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2018.03.002>
- [39] W3C (2018) Understanding WCAG 2.1. <https://www.w3.org/WAI/WCAG21/Understanding/>. Accessed 4 December 2019
- [40] Guarino L, Snow-Weaver A (2009) WCAG 2.0 for designers: beyond screen readers and captions. In Stephanidis C. (eds) Universal Access in Human-Computer Interaction. Applications and Services. UAHCI 2009. Lecture Notes in Computer Science, vol 5616. Springer, Berlin, Heidelberg, pp 674-682. https://doi.org/10.1007/978-3-642-02713-0_71
- [41] H Szpiro SFA, Hashash S, Zhao Y, Azenkot S (2016) How People with low vision access computing devices: understanding challenges and opportunities. In ASSETS '16 Proceedings of the 18th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility, pp 171-180. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/2982142.2982168>
- [42] Feria M (2010) Consejos para la confección de gráficos científicos. Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve 20:45-56
- [43] 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. In Proceedings of the 43rd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL'05), pp. 223-230
- [44] Yu H, Agarwal S, Johnston M, Cohen A (2009) Are figure legends sufficient? evaluating the contribution of associated text to biomedical figure comprehension. J Biomed Discov Collab 4(1). <https://dx.doi.org/10.1186%2F1747-5333-4-1>
- [45] Cohen WW, Wang R, Murphy RF (2003) Understanding captions in biomedical publications. In Proc of the ninth ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, pp 499-504. <https://doi.org/10.1145/956750.956809>
- [46] Knaflic CN (2015) Storytelling with data: a data visualization guide for business professionals. Wiley, New Jersey.
- [47] Elzer S, Schwartz E, Carberry S, Chester D, Demir S, Wu P (2008) Accessible bar charts for visually impaired users. In Proc. of the IASTED International Conf. on Telehealth/Assistive Technologies, pp 55-60
- [48] Elzer S, Carberry S, Chester D, Demir S, Green N, Zukerman I, Trnka K (2005) Exploring and exploiting the limited utility of captions in recognizing intention in information graphics. In Proc. of the 43rd Annual Meeting of the Assoc. for Computational Linguistics, pp 223-230. <http://dx.doi.org/10.3115/1219840.1219868>
- [49] Mittal VO, Carenini G, Moore JD, Roth, S (1998) Describing complex charts in natural language: a caption generation system. Comput Linguist, 24(3):431-467

- [50] Agarwal, S, Yu H (2009) FigSum: automatically generating structured text summaries for figures in biomedical literature. Proc. of the 2009 Annual Symposium of the American Medical Information Association (AMIA). American Medical Information Association, San Francisco, CA, pp 6-10
- [51] W3C (2019) Complex images. In Web accessibility tutorials: guidance on how to create websites that meet WCAG. <https://www.w3.org/WAI/tutorials/images/complex/>. Accessed 4 December 2019
- [52] Costa J (1998). La esquemática: visualizar la información. Paidós, Barcelona
- [53] WebAIM (2009) Screen reader user survey #2 results. Accessed 4 December 2019 <https://webaim.org/projects/screenreadersurvey2/>
- [54] WebAIM (2015) Screen reader user survey #6 results. <https://webaim.org/projects/screenreadersurvey6/>. Accessed 4 December 2019
- [55] Ault HK, Deloge JW, Lapp, RW, Morgan MJ, Barnett JR (2002) Evaluation of long descriptions of statistical graphics for blind and low vision web users. In 8th International Conference, ICCHP 2002, pp 517-526
- [56] Corio M, Lapalme G (1998) Integrated generation of graphics and text: a corpus study. In Proc of the COLING-ACL Workshop on Content Visualization and Intermedia Representations (CVIR'98), pp 63-68
- [57] Corio M, Lapalme G (1999) Generation of texts for information graphics. In Proc of the 7th European Workshop on Natural Language Generation (EWNLG'99), pp 49-58
- [58] Legge GE (2006) Psychophysics of reading. Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, New Jersey
- [59] Legge, GE (2016) Reading digital with low vision. *Visible Lang* 50(2):102-125
- [60] Bernard, M, Liao CH, Mills M (2001) The effects of font type and size on the legibility and reading time of online text by older adults. In Proc of the ACM/SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI2001), pp 175-176
<https://doi.org/10.1145/634067.634173>
- [61] Rubin GS, Feely M, Perera S, Ekstrom K, Williamson E (2006) The effect of font and line width on reading speed in people with mild to moderate vision loss. *Ophthal Physl Opt* 26(6):545-554
- [62] Bernard JB, Aguilar C, Castet E (2016) A new font, specifically designed for peripheral vision, improves peripheral letter and word recognition, but not eye-mediated reading performance. *PLoS One* 11(4). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152506>
- [63] Tinker MA (1963) The legibility of print. Iowa State University Press.
- [64] Calabrese A, Bernard JB, Hoffart L, Faure G, Barouch F, Conrath J, Castet E (2010). Small effect of interline spacing on maximal reading speed in low-vision patients with central field loss irrespective of scotoma size. *Invest Ophth Vis Sci* 51(2):1247-1254
- [65] Blackmore-Wright S, Georgeson MA, Anderson SJ (2013) Enhanced text spacing improves reading performance in individuals with macular disease. *PLoS One* 8(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080325>
- [66] Russell-Minda E (2007) The legibility of typefaces for readers with low vision: a research review. *J Vis Impair Blind* 101(7):402-415. <https://doi.org/10.1177/0145482X0710100703>
- [67] Henry SL (2012) Developing text customisation functionality requirements of PDF reader and other user agents. In Proc of the 13th International Conference on Computers Helping People with Special Needs (ICCHP 2012), pp 602-609
- [68] Pavazza S, Pap K (2012) The alternative way of creating infographics using SVG technology. *Acta graphica* 23(1-2):45-56
- [69] Herman I, Dardailler D (2002) SVG linearization and accessibility. *Comput Graph Forum* 21(4):777-786
- [70] W3C (2015) SVG Accessibility/ARIA roles for charts. https://www.w3.org/wiki/SVG_Accessibility/ARIA_roles_for_charts. Accessed 4 December 2019
- [71] W3C (2018) WAI-ARIA graphics module. <https://www.w3.org/TR/graphics-aria-1.0/>. Accessed 4 December 2019
- [72] Ware C, Beatty JC (1985) Using colour as a tool in discrete data analysis. Tech. Rep. CS-85-21, Computer Science Dept., Univ. of Waterloo, Waterloo, Ont., Canada
- [73] Mackinlay J (1986) Automating the design of graphical presentations of relational information. *ACM Transactions on Graphics (TOG)* 5:110-141
- [74] Olson JM, Brewer CA (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
- [75] Brewer CA (2016) Designing better maps: a guide for GIS users. ESRI Press, Redlands (Calif.)

- [76] Albers D, Correll M, Gleicher M (2014) Task-driven evaluation of aggregation in time series visualization. Proc of the 32nd annual ACM conference on Human factors in Computing Systems, pp 551-560
- [77] Adnan M, Just M, Baillie L (2016) Investigating time series visualizations to improve the user experience. In Proc of the 2016 CHI Conf Hum Fact Comput Systems, pp 5444-5455
- [78] Correll M, Albers D, Franconeri S (2012) Comparing averages in time series data. In Proc of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp 1095-1104
- [79] Joyce A (2019) Tooltip Guidelines. NN/g Nielsen Norman Group. Articles. <https://www.nngroup.com/articles/tooltip-guidelines>. Accessed 4 December 2019
- [80] Van Achterberg M (2019) Designing and coding for low vision. Technica11y: discussing challenges in technical accessibility. <https://www.technica11y.org/designing-and-coding-for-low-vision>. Accessed 3 December 2019
- [81] Kramer G (1994) Auditory display: sonification, audification, and auditory interfaces. Addison-Wesley, Reading, MA.
- [82] Cohen RF, Yu R, Meacham A, Skaff J (2005) PLUMB: displaying graphs to the blind using an active auditory interface. In Proc of the 7th international ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility, pp 182-183
- [83] Evreinova TG (2008) Non-visual interaction with graphs assisted with directional-predictive sounds and vibrations: a comparative study. Universal Access Inf 7(1-2):93-102 <https://doi.org/10.1007/s10209-007-0105-9>.
- [84] Alty JL, Rigas D (2005) Exploring the use of structured musical stimuli to communicate simple diagrams: the role of context. Int J Hum-Comput St 62(1):21-40
- [85] Treviranus J, Mitchell J, Clark C (2018) Sonification, Floe: the inclusive learning design handbook. <https://handbook.floeproject.org/Sonification.html>. Accessed 3 December 2019
- [86] Doush IA, Pontelli E, Simon D, Cao ST, Ma O (2009). Making Microsoft Excel™ accessible: multimodal presentation of charts. Proc of the 11th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility. ACM, New York, NY, pp 147-154
- [87] Petrie H, Kheir O (2007) The relationship between accessibility and usability of websites. In Proc of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, CHI 2007, ACM, New York (2007). <http://doi.acm.org/10.1145/1240624.1240688>
- [88] Moreno L, Martínez P, Ruiz-Mezcua, B (2009) A bridge to web accessibility from the usability heuristics. In Holzinger A, Miesenberger K (eds) HCI and Usability for e-Inclusion. USAB 2009. Lecture Notes in Computer Science 5889. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-10308-7_20
- [89] Casare AR, Silva CG, Martins PS, Moraes RLO (2016) Usability heuristics and accessibility guidelines: a comparison of heuristic evaluation and WCAG. In SAC '16 Proceedings of the 31st Annual ACM Symposium on Applied Computing Pages, pp 213-215 <https://doi.org/10.1145/2851613.2851913>
- [90] Likert R (1932). A technique for the measurement of attitudes. Arch. Psychol. 22 (140), 1-55.
- [91] Pearse N (2011) Deciding on the scale granularity of response categories of Likert type scales: the case of a 21-point scale. Electron. J. Bus. Res. Methods. 9 (2), pp 159-171.
- [92] Sullivan GM, Artino AR (2013) Analyzing and interpreting data from Likert-type scales. J Grad Med Educ. 5(4):541-542
- [93] Sauro J, Lewis JR (2016) Quantifying the user experience: practical statistics for user research. Morgan Kaufmann, Amsterdam
- [94] Alcaraz Martínez R, Ribera M, Granollers T (2019) Avaluació de l'accessibilitat per a persones amb baixa visió dels gràfics estadístics dels llocs web de les universitats públiques catalanes. In II Congrés Internacional sobre Universitat i Inclusió
- [95] Alcaraz Martínez R, Ribera M, Granollers T, Pascual A (2020) ¿Son accesibles los gráficos estadísticos para personas con baja visión en la prensa digital?: una propuesta metodológica basada en heurísticas. Prof inform 29(5). <https://doi.org/10.3145/epi.2020.sep.15>
- [96] Chacón Barbero J (2012) Accesibilidad de los diferentes sistemas operativos móviles. In IV Jornadas de Usuarios de Tecnología para personas con discapacidad visual
- [97] White, J (2018) WCAG 2.1 meets STEM: application, interpretation, and opportunities for further standard development. J Learn Disabil 22(1)
- [98] Power C, Freire A, Petrie H, Swallow D (2012). Guidelines are only half of the story: accessibility problems encountered by blind users on the Web. In Conference on Human Factors in Computing Systems Proc, pp 433-442. <https://doi.org/10.1145/2207676.2207736>
- [99] Nielsen, J (1994) Severity ratings for usability problems. NN/g Nielsen Norman Group. Articles. <https://www.nngroup.com/articles/how-to-rate-the-severity-of-usability-problems/>. Accessed 22 June 2020

[100] Alcaraz Martínez R, Ribera M (2020). An evaluation of accessibility of COVID-19 statistical charts of governments and health organisations for people with low vision. *Prof inform* 29(5). <https://doi.org/10.3145/epi.2020.sep.14>

[101] Paddison C, Englefield P (2004) Applying heuristics to accessibility inspections. *Interact Comput* 16(3):507-521. <https://doi.org/10.1016/j.intcom.2004.04.007>

Avaluació de l'accessibilitat per a persones amb baixa visió dels gràfics estadístics dels llocs web de les universitats públiques catalanes

Rubén Alcaraz Martínez

Departament de Biblioteconomia,
Documentació i Comunicació Audiovisual
Universitat de Barcelona

Mireia Ribera Turró

Departament de Matemàtiques i Informàtica
Universitat de Barcelona

Toni Granollers Saltiveri

Departament d'Informàtica i Enginyeria Industrial
Universitat de Lleida

Resum de la comunicació

Els gràfics estadístics permeten visualitzar dades d'una manera més eficient que altres formats, com ara les taules. El sistema educatiu considera la necessitat que els estudiants assoleixin competències relacionades amb la interpretació i la creació de gràfics. La recerca i el periodisme són altres àmbits on els gràfics tenen una presència important i que justifiquen la necessitat de fer-los accessibles per garantir l'accés de les persones discapacitades a aquests sectors clau de la societat.

Els processos d'avaluació de la qualitat de les titulacions universitàries han significat la posada en obert d'un conjunt d'indicadors en forma de gràfics en els webs de les universitats: estadístiques que orienten els estudiants sobre quin centre i quin ensenyament poden triar.

En el període 2012-2016 el nombre d'estudiants discapacitats matriculats a les universitats catalanes s'ha incrementat un 1.341,67 %. La bibliografia recull diferents treballs centrats en l'accessibilitat de les persones cegues o amb poca resta de visió, als gràfics, però no aborda el cas específic dels usuaris amb baixa visió, fet que contribueix a marginar un col·lectiu que representa el 97 % de les persones discapacitades visuals del món.

Darrerament, a Europa i Espanya s'han realitzat importants avenços legislatius en matèria d'accessibilitat informàtica, com la Directiva (UE) 2019/882 i el Reial decret 1112/2018. Tanmateix, encara queda molt marge de millora quant al compliment de les normatives aplicables en el context universitari. L'accessibilitat dels gràfics estadístics per a persones amb baixa visió implica diferents consideracions no abordades per les directrius interna-

cionals, que se centren fonamentalment en les persones cegues i en l'ús d'alternatives textuais o taules, solucions amb les quals l'usuari amb baixa visió perd la possibilitat de gaudir dels beneficis de la visualització pel que fa a l'eficiència en la percepció i comprensió de les dades.

Metodologia

Amb l'objectiu de determinar el nivell d'accessibilitat dels gràfics estadístics dels webs de les universitats, s'ha desenvolupat una eina d'avaluació específica basada en heurístiques.

La mostra està formada per dues universitats públiques de diferents magnituds (UB i UdL) i pels webs EUC i Winddat de l'AQU, llocs de referència per a moltes universitats que enllacen amb els seus gràfics. De cada web s'ha analitzat una pàgina representativa dins dels apartats d'informació sobre els processos del MVSMA.

La unitat de valoració considerada és la pàgina completa. En el cas de pàgines amb diversos gràfics, s'han analitzat tots i s'ha realitzat la mitjana de les puntuacions obtingudes. La recollida de dades s'ha realitzat durant el mes de setembre de 2019.

Resultats i treball futur

Cap dels webs analitzats presenta gràfics que es puguin considerar accessibles per al col·lectiu objecte d'estudi. Els principals problemes són l'ús del color, l'accés a través del teclat i l'absència d'alternatives textuais.

Com a principal línia de treball, una vegada consolidada la metodologia, s'ampliarà la mostra per obtenir un resultat més representatiu de l'estat de l'accessibilitat dels gràfics estadístics als webs de les universitats. La metodologia serà aplicable a altres àmbits, com la docència o la recerca. També es treballa per proposar una guia per a l'elaboració d'aquest tipus de contingut.

Nom de l'autor de contacte: Rubén Alcaraz Martínez
Adreça electrònica: rcalcaraz@ub.edu
Institució: Universitat de Barcelona

Accesibilidad para personas con baja visión de los gráficos estadísticos en la prensa digital: una propuesta metodológica basada en indicadores heurísticos

Accessibility for people with low vision of statistical graphics in the digital press: A methodological proposal based on heuristic indicators

Rubén Alcaraz-Martínez; Mireia Ribera-Turró; Toni Granollers-Saltiveri; Afra Pascual

Cómo citar este artículo:

Alcaraz-Martínez, Rubén; Ribera-Turró, Mireia; Granollers-Saltiveri, Toni; Pascual, Afra (2020). "Accesibilidad para personas con baja visión de los gráficos estadísticos en la prensa digital: una propuesta metodológica basada en indicadores heurísticos". *Profesional de la información*, v. 29, n. 5, e290515.

<https://doi.org/10.3145/epi.2020.sep.15>

Artículo recibido el 10-01-2020
Aceptación definitiva: 01-04-2020



Rubén Alcaraz-Martínez ✉
<https://orcid.org/0000-0002-7185-0227>

Universitat de Barcelona.
Departament de Biblioteconomia,
Documentació i Comunicació Audiovisual
Melcior de Palau, 140
08014 Barcelona, España
ralcaraz@ub.edu



Mireia Ribera-Turró
<https://orcid.org/0000-0003-1455-1869>

Universitat de Barcelona
Departament de Matemàtiques i
Informàtica
Gran Via de les Corts Catalanes, 585
08007 Barcelona, España
ribera@ub.edu



Toni Granollers-Saltiveri
<https://orcid.org/0000-0001-9189-7308>

Universitat de Lleida
Escola Politècnica Superior
Departament d'Informàtica i Enginyeria
Industrial
Av. Jaume II, 69. 25001 Lleida, España
antoni.granollers@udl.cat



Afra Pascual
<https://orcid.org/0000-0002-2368-755X>

Universitat de Lleida
Escola Politècnica Superior
Departament d'Informàtica i Enginyeria
Industrial
Jaume II, 69. 25001 Lleida, España
apascual@diei.udl.cat

Resumen

Se presenta un nuevo conjunto de indicadores heurísticos para la evaluación de la accesibilidad de los gráficos estadísticos para personas con baja visión y visión cromática deficiente (VCD), así como un método para su aplicación. Con el objetivo de validar la propuesta, se ha realizado una evaluación heurística de la accesibilidad de 35 gráficos publicados en 5 diarios españoles y 2 internacionales. Los resultados muestran que los indicadores propuestos consiguen detectar una mayor cantidad de problemas únicos, presentan una mejor distribución de los problemas entre heurísticos y consiguen detectar problemas más severos y específicos que las *Web content accessibility guidelines* (WCAG). En relación con los problemas detectados, destaca la prácticamente nula presencia de alternativas textuales en los gráficos publicados como imágenes en formato de mapa de bits, un problema que también se da en el caso de los gráficos publicados en formato SVG, donde destaca el nulo etiquetado de las marcas con estándares como WAI-ARIA. En estos últimos también se observa el pobre uso de indicadores para remarcar los elementos que reciben el foco, o su inaccesibilidad mediante una interfaz de teclado. Otros problemas comunes en ambos tipos de gráficos son la ratio de contraste entre elementos no textuales, por debajo en muchos casos del mínimo requerido, un tamaño de fuente demasiado pequeño o la no sistematización del uso de paletas de colores seguras para personas con VCD. Por lo que respecta a la comparación entre medios nacionales e internacionales, si bien las puntuaciones obtenidas por los internacionales son superiores, éstos comparten

un importante número de problemas con los españoles. La lista de indicadores obtenida, más allá de demostrarse útil para propósitos evaluativos, también lo hace como guía para la creación de gráficos accesibles fácilmente incorporable a las guías de estilo de los medios analizados.

Palabras clave

Gráficos estadísticos; Visualización de la información; Baja visión; Visión cromática deficiente; Ceguera al color; Daltonismo; Accesibilidad web; Prensa digital; Prensa online; Evaluación heurística; Guías de estilo.

Abstract

A new set of heuristic indicators is presented for the evaluation of the accessibility of statistical charts for people with impaired vision and color vision deficiency (CVD), as well as a methodology for their application. To validate the proposal, a heuristic evaluation of the accessibility of 35 charts published in 5 Spanish and 2 international newspapers is carried out. The results show that the proposed indicators enable the detection of a greater number of unique problems, present a better distribution of problems among heuristics, and enable the detection of more severe and specific problems compared with the *Web content accessibility guidelines (WCAG)*. Regarding the problems detected, the lack of text alternatives to charts in bitmap format stands out, a problem that also occurs in the case of charts in SVG format, for which standards such as *WAI-ARIA* are not used for labeling the marks. The latter also underlines the poor use of indicators to highlight the elements that receive focus, or their inaccessibility through a keyboard interface. Other common problems with both types of charts are the non-text contrast ratio, which in many cases is below the minimum required, too small a font size, or the non-systematization of the use of color palettes appropriate for people with CVD. The comparison between national and international media reveals that, although higher scores are obtained by international media, they share a significant number of the problems identified for Spanish media. The list of principles obtained, beyond proving helpful for evaluative purposes, is also useful as a guide for creating accessible charts that could be easily incorporated into the style guides of the analyzed media.

Keywords

Statistical charts; Information visualization; Low vision; Color vision deficiency; Color blindness; Daltonism; Web accessibility; Digital press; Online press; Heuristic evaluation; Style guides.

Financiación

Este trabajo ha sido realizado en el marco del programa de doctorado *Ingeniería y Tecnologías de la Información de la Universitat de Lleida*. Está parcialmente financiado por el proyecto español PID2019-105093GB-I00 (*Mineco/Feder*, UE), el programa *Cerca* de la *Generalitat de Catalunya*, y el programa *Retos* del *Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades* RTI2018-095232-B-C21 y SGR 1742.

1. Introducción

En las últimas dos décadas se ha observado una creciente presencia de los medios de comunicación en la Red y, en concreto, de la prensa escrita, una cuestión que ha llevado a diversos autores y entidades a realizar trabajos orientados a evaluar la usabilidad y accesibilidad de la prensa digital (*Discapnet*, 2007; **Parra-Valcarce**, 2010; **Roa-Amaya**; **Caldeira-Serrano**, 2011; **Cabañero-Resta**; **Luján-Mora**, 2012; *Discapnet*, 2016; **González-Perea**, 2018; **Parra-Valcarce**; **Martínez-Arias**, 2018), los medios de comunicación audiovisuales (**Utray**, 2009), así como a proponer pautas y criterios para la creación de contenido audiovisual accesible en la Web (**Gutiérrez-Restrepo**, 2015). No obstante, ningún trabajo hasta el momento se ha centrado en el análisis de la accesibilidad de los gráficos estadísticos presentes en estos medios, limitándose los estudios existentes a evaluar de manera genérica la presencia de alternativas textuales para el contenido no textual, como criterio incluido en las *Web content accessibility guidelines (WCAG)* del *World Wide Web Consortium* (2018a).

En el caso particular de los gráficos estadísticos, la bibliografía científica se ha centrado en estudiar su accesibilidad para las personas ciegas o con muy poco resto de visión. Fundamentalmente, se han propuesto cuatro aproximaciones en vistas a mejorar su accesibilidad:

- el uso de alternativas textuales,
- la generación de alternativas táctiles,
- la implementación de esquemas sonoros, y
- la creación de presentaciones multimodales (**Alcaraz-Martínez et al.**, 2020).

Si bien estas aproximaciones pueden ser útiles para las personas ciegas e incluso para los usuarios con baja visión severa, al centrarse en alternativas diferentes a la gráfica como tablas de datos estructurados, resúmenes o el uso de sonidos para comunicar tendencias, no presentan la misma capacidad para mostrar de una manera eficiente tendencias o comparativas entre variables. Esto implica además un mayor uso de la memoria a corto plazo y una superior carga cognitiva cuando se busca obtener respuestas o conclusiones a partir de datos tabulados. No debemos olvidar que un importante

porcentaje de usuarios con baja visión todavía conserva un resto de visión suficiente para visualizar los gráficos, ya sea simplemente ampliándolos, o gracias al soporte de ayudas técnicas como los magnificadores de pantalla, y que estas personas prefieren usar ese resto visual en su día a día (**Szpiro et al.**, 2016), condición que las alternativas mencionadas no explotan. En la figura 1, se puede observar un ejemplo de la diferencia entre la lectura de los mismos datos representados en forma de tabla y gráfico.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2013	17.589	24.156	27.165	29.541	32.146	24.563	14.743	16.230	15.636	19.999	31.545	18.354
2014	22.895	26.746	32.565	31.050	35.241	26.124	16.923	17.028	22.712	27.351	26.558	16.607
2015	18.729	23.027	26.966	25.407	28.548	25.197	19.885	18.207	28.065	32.033	30.104	18.817

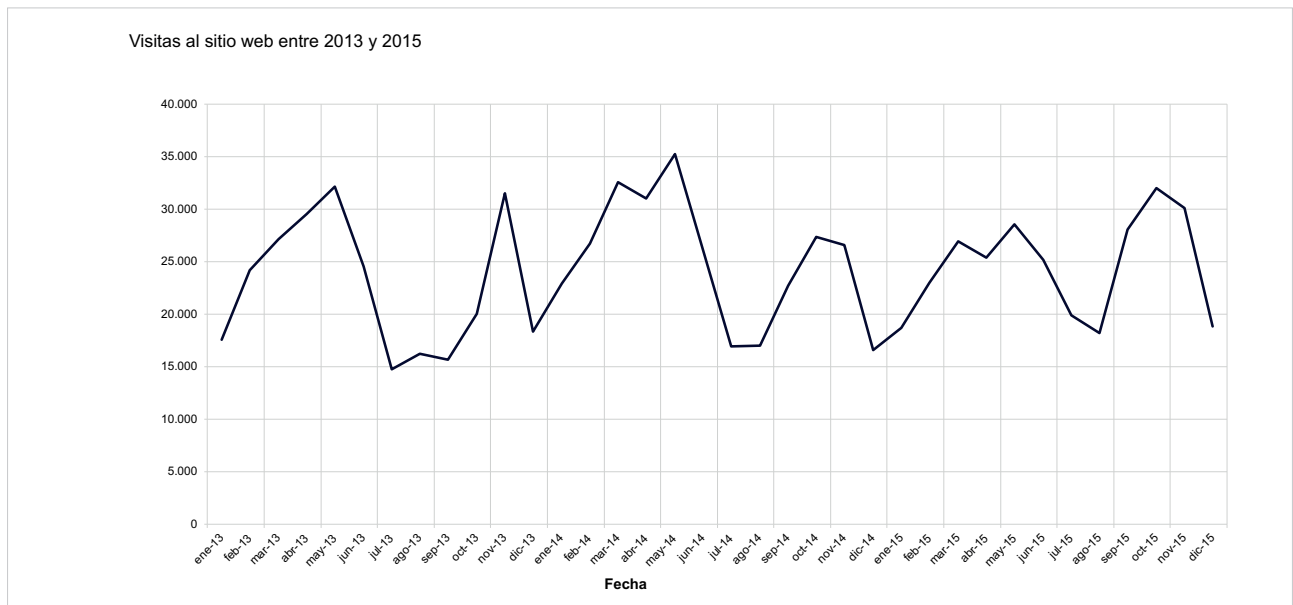


Figura 1. Comparación entre una representación tabular y una representación gráfica de los mismos datos. Mediante la versión gráfica es posible observar rápidamente tendencias, cosa que en la tabla requiere un tiempo superior

Los gráficos estadísticos están presentes en todos los sectores clave de la sociedad. En el ámbito educativo, el currículo básico regulado por ley en *España* (2014; 2015), recoge la necesidad de que los estudiantes sean capaces de interpretar y crear diferentes tipos de gráficos estadísticos en distintas materias y niveles formativos. En el ámbito científico, la representación gráfica acostumbra a ser una de las principales formas a través de las cuales se comunican los resultados de investigación. En el caso de los medios de comunicación, la prensa siempre se ha valido de gráficos para representar datos y estadísticas. El movimiento de datos abiertos y la puesta a disposición de grandes conjuntos de datos en acceso abierto no ha hecho más que potenciar el denominado periodismo de datos, multiplicando este tipo de representaciones gráficas en los medios de comunicación y aumentando su interés entre periodistas, académicos, informáticos y diseñadores (**Meeks; Cesal; Pettit**, 2019). La inteligencia de negocios es también otra área en la que los gráficos estadísticos sirven para la exploración, análisis y comunicación (**Cairo**, 2017). Estos son sólo cuatro ejemplos de sectores clave de la sociedad que justifican la necesidad de contar con gráficos accesibles para garantizar el acceso a la información y el conocimiento de las personas con discapacidad.

Según datos de la *Organización Mundial de la Salud* (*World Health Organization*, 2019), alrededor de 1.300 millones de personas en el mundo presentan algún tipo de discapacidad visual, de las cuales el 95% presentan algún tipo de baja visión. La prevalencia a nivel mundial, tomando como referencia los datos de población del último informe demográfico de la *División de Población de las Naciones Unidas* (2017), es de alrededor del 17,1%. Una cifra en crecimiento debido a diversos factores como el aumento de la tasa de enfermedades como la diabetes, pero, principalmente, como consecuencia del envejecimiento global de la población (**Miqueli-Rodríguez; López-Hernández; Rodríguez-Masó**, 2016). Sin ir más lejos, aproximadamente el 86% de las personas ciegas, el 80% de las personas con baja visión moderada y grave, el 74% de las personas con baja visión leve y el 61% de la población mundial con presbicia tienen 50 años o más (**Bourne**, 2017).

Se considera que una persona presenta baja visión cuando con la mejor corrección óptica posible, su agudeza visual es inferior a 20/60, o su campo de visión es inferior a 20 grados (**Legge**, 2016). Una agudeza visual “normal” es la de las personas que obtienen un resultado de 20/20 en el test de **Snellen** (1862) y su campo visual es de 90 grados a ambos lados y 50 grados por encima y 60 por debajo de la nariz (**Legge**, 2016). Esto implica que dentro de este

Los gráficos estadísticos están presentes en todos los sectores clave de nuestra sociedad

perfil de usuario podemos encontrar tanto a personas con una agudeza visual que va desde el reconocimiento de la forma de una mano, hasta un 2/60 en el test Snellen, combinado o no con un campo visual de menos de 5 grados (B2 en la clasificación *IBSA*), como a personas con un resto de visión situado entre 2/60 y 6/60 en el mismo test y/o un campo visual de entre 5 y 20 grados (B3 en la clasificación *IBSA*) (*IBSA*, 2011). También a personas con problemas no sólo relacionados con la agudeza visual o el campo de visión (figura 2), sino también con la sensibilidad a la luz, al contraste (figura 3) –no sólo entre texto o imagen respecto al fondo, sino también entre elementos adyacentes– (figura 3), o con dificultad o imposibilidad para diferenciar colores (conocida como visión cromática deficiente, en adelante *VCD*) (figura 4). En este sentido, la gran variabilidad presente en este perfil de usuario implica grandes diferencias en las capacidades entre dos personas con baja visión, así como en las estrategias, preferencias y ayudas técnicas (lectores de pantalla, magnificadores, opciones de contraste, etc.) utilizadas para acceder al contenido disponible en las webs.

Ante la inexistencia de principios específicos para evaluar la accesibilidad para personas con baja visión de los gráficos estadísticos disponibles en la Web, se ha creado un nuevo método basado en heurísticas. Las evaluaciones heurísticas son métodos de inspección de una o varias dimensiones clave de una interfaz (**González; Pascual; Lorés**, 2001). En este tipo de revisiones, muy extendidas en el ámbito de la usabilidad y la accesibilidad, varios expertos se valen de su experiencia y se basan en su propio juicio para examinar la interfaz en base a una serie de principios denominados indicadores heurísticos. Esta técnica tiene su origen en el trabajo seminal de **Nielsen y Molich** (1990), base sobre la cual otros autores han realizado propuestas metodológicas para la confección de nuevas listas de heurísticas para la evaluación tanto de aspectos generales relacionados con la usabilidad, la accesibilidad o la experiencia de usuario, como con aspectos más específicos de las interfaces o de tipos concretos de sitios o aplicaciones web, conocidas como “heurísticas de dominio” (**Hub; Čapková**, 2010; **Rusu et al.**, 2011; **Van Greunen et al.**, 2011; **Masip; Oliva; Granollers**, 2012; **Lechner et al.**, 2013; **Franklin et al.**, 2014; **Hermawati; Lawson**, 2015; **Jiménez et al.**, 2017; **Quiñones et al.**, 2018).

Frente a la posibilidad de recopilar y presentar una guía de buenas prácticas para la creación de gráficos estadísticos accesibles, se ha optado por la creación de un conjunto de indicadores heurísticos. Estos indicadores se pueden utilizar tanto para la evaluación, como para la posterior creación de guías específicas, con el objetivo de dar a conocer los requisitos de accesibilidad aplicables entre autores y diseñadores. El presente trabajo busca pues dos objetivos. En primer lugar, conocer el grado de adecuación de los gráficos estadísticos presentes en la prensa digital a las características de accesibilidad requeridas por parte de las personas con baja visión o *VCD*, a partir de una muestra extraída de los medios de máxima difusión. En segundo lugar, se pretende validar la propuesta de indicadores heurísticos en términos de eficacia, con el objetivo de obtener un conjunto de indicadores que sirva tanto para la evaluación, como para la elaboración de guías de buenas prácticas.

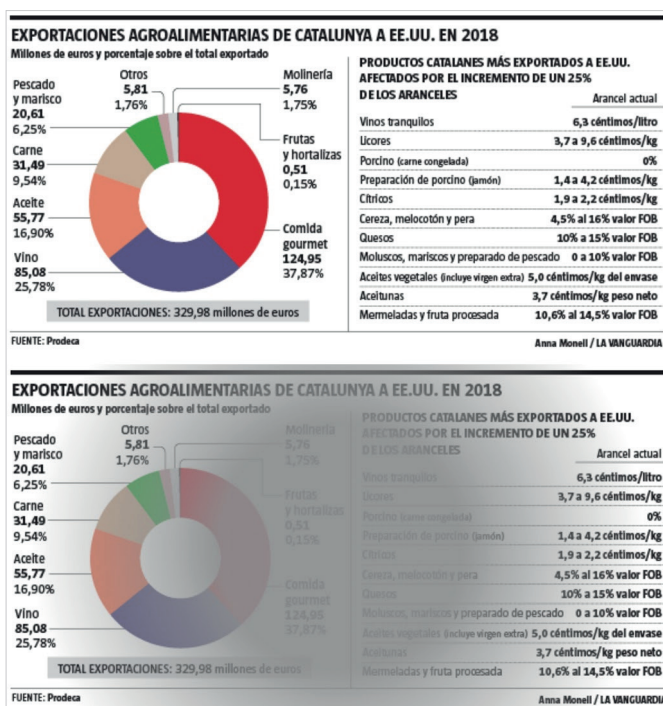


Figura 2. En la parte superior, gráfico visto por una persona sin discapacidad visual. En la parte inferior, simulación del resultado de ver el mismo gráfico por parte de una persona con la visión central reducida como consecuencia de una degeneración macular. Fuente del gráfico original: *La Vanguardia*; de la simulación: Autores.



Figura 3. En la parte superior, gráfico sobre la evolución de la inflación en España disponible en el sitio web de *Eurostat*. En la parte inferior, simulación del resultado de ver el mismo gráfico por parte de una persona con alta sensibilidad al contraste. Fuente del gráfico original: *Eurostat*; de la simulación: Autores.

2. Método

2.1. Creación de la lista de indicadores

Uno de los principales problemas en la construcción de heurísticas de dominio radica en la escasa información proporcionada por sus autores sobre el proceso de formulación, especificación, validación y refinamiento de los indicadores (Quiñones *et al.*, 2018). En concreto, Hermawati y Lawson (2016), destacan como principal problema importantes deficiencias en el proceso de validación, así como la falta de rigurosidad, robustez y estandarización en el análisis de la eficacia de los indicadores heurísticos propuestos.

Para la selección, descripción, especificación y refinamiento del conjunto de heurísticos se ha seguido el método propuesto por Quiñones *et al.* (2018), el cual se ha complementado con las métricas propuestas por Jiménez *et al.* (2017) para la validación en comparación a otras listas de heurísticas existentes. El método consta de 8 fases, de las cuales las 6 primeras consisten en:

- 1) exploratoria, en la que se propone realizar una revisión de la bibliografía publicada con el objetivo de recopilar información relevante para la construcción de la lista de indicadores. Para ello se realizó una revisión de alcance de la bibliografía cuyos resultados se encuentran disponibles en Alcaraz-Martínez *et al.* (2020);
- 2) evaluaciones heurísticas con estos otros indicadores, una fase optativa que no se llevó a cabo dada la inexistencia de otros trabajos centrados en la evaluación de la accesibilidad de los gráficos estadísticos para personas con baja visión y VCD;
- 3) descriptiva, en la que se seleccionan y priorizan las cuestiones más importantes de la información recopilada en las fases anteriores;
- 4) correlacional, en la que se mapean los principios identificados con otras listas de indicadores heurísticos de interés. En nuestro caso con las WCAG 2.1 (2018a) y las propuestas de Koivunen y McCathieNeville (2001), Evergreen y Emery (2018) y Boudreau (2019);
- 5) selección, en la que se mantienen, adaptan o descartan los indicadores seleccionados en la fase 3, con el objetivo de obtener una primera propuesta;
- 6) especificación, en la que se detalla formalmente el alcance de cada indicador (tabla 3);
- 7) validación de la lista de indicadores obtenidos a partir de diferentes métodos entre los cuales se encuentra la realización de evaluaciones heurísticas sobre un conjunto de sitios web representativos del dominio en cuestión. El trabajo que presentamos en este artículo es precisamente la primera evaluación conducida con el nuevo conjunto de indicadores heurísticos, la interpretación de sus resultados y la validación de los indicadores propuestos;
- 8) refinamiento, mejora del conjunto de indicadores en función de los resultados y comentarios obtenidos en la fase anterior.

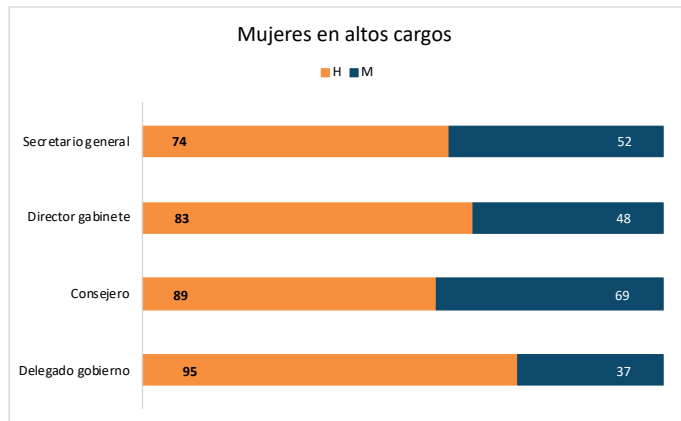
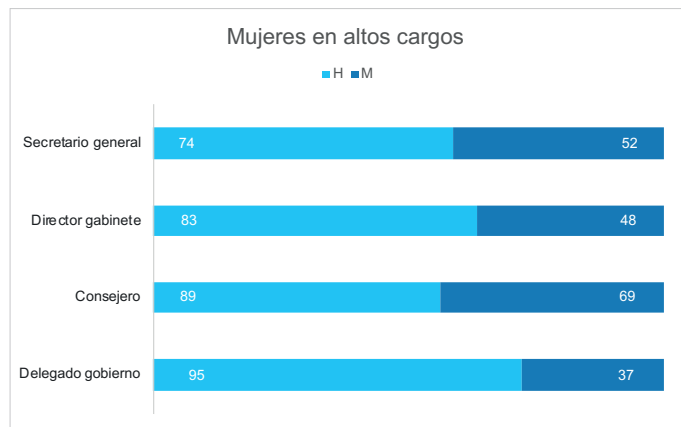


Figura 4. En la parte superior, los dos tonos de azul de las barras presentan un contraste insuficiente entre ellos (2,27:1 de 3:1). La etiqueta blanca con el valor numérico sobre el azul más claro, así como el texto del pie, también presentan un contraste insuficiente (2,11:1 y 3,79:1 de 4,5:1, respectivamente). En la parte inferior, el contraste entre barras es de 4,52:1 y los contrastes entre etiquetas negra/naranja y blanca/azul de 9,4:1 y 10,1:1, respectivamente. Para el pie se utiliza un negro 100% obteniendo el máximo contraste posible (21:1). Finalmente, se ha cambiado la fuente Arial, por la Tiresias, una fuente creada específicamente para mejorar la legibilidad de los textos para personas con baja visión. Fuente del gráfico superior: Adaptación de un gráfico publicado en *El mundo*. Fuente del gráfico inferior: adaptación de los autores.

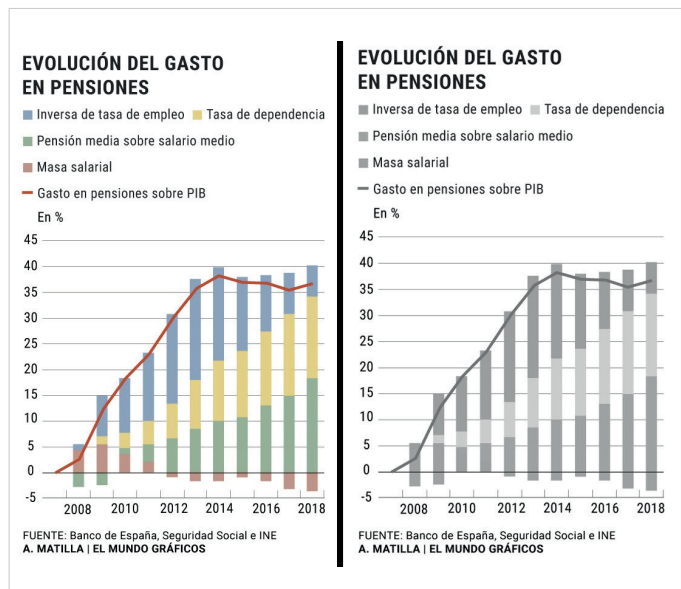


Figura 5. A la izquierda, gráfico visto por una persona con una completa percepción del color. A la derecha, simulación del resultado de ver el mismo gráfico por parte de una persona con acromatopsia (también llamada monocromatismo). Fuente del gráfico original: *El mundo*, de la simulación: Autores.

2.2. Planteamiento y ejecución de la evaluación

Los resultados del trabajo de **Nielsen** (1992) muestran la necesidad de involucrar a varios evaluadores para poder encontrar todos los problemas presentes en la interfaz. Su recomendación es que participen entre 3 y 5 evaluadores, ya que añadir personas adicionales al proceso implica una relación entre beneficios y coste difícilmente justificable por el pobre incremento en la cantidad de errores descubiertos (**Nielsen; Landauer**, 1993). En este caso se ha contado con 4 evaluadores, todos ellos con experiencia previa en evaluaciones heurísticas, auditorías de accesibilidad y en el trabajo con usuarios con baja visión.

El proceso de evaluación tuvo lugar entre los días 5 y 13 de octubre de 2019. Cada evaluador trabajó de manera individual con el objetivo de garantizar evaluaciones independientes e imparciales. Una vez finalizado el proceso y, siguiendo las recomendaciones de **Nielsen** (1994), se llevó a cabo una reunión en la que los evaluadores pudieron comunicarse y agregar sus hallazgos con el objetivo de poner en común aspectos relacionados tanto con los problemas encontrados en la interfaz, como con los mismos indicadores heurísticos.

La lista de indicadores heurísticos propuesta está formada por 18 indicadores que cubren aspectos de la información que transmite el gráfico (título, ejes, alternativas de texto...), su presentación visual (fuente tipográfica, colores...) y el comportamiento y funciones presentes (personalización, compatibilidad con los lectores de pantalla...).

En relación con el perfil de baja visión al que benefician, la distribución de los indicadores es la siguiente:

- 3 indicadores pensados para usuarios que presentan un resto visual muy bajo y que emplean un lector de pantalla como ayuda técnica principal o como complemento al magnificador de pantalla;
- 5 indicadores que contemplan aspectos que pueden beneficiar a usuarios con un resto visual no tan bajo como el anterior, pero que aun así precisan del uso de ayudas como magnificadores de pantalla;
- 1 indicador pensado para satisfacer las necesidades de los usuarios con VCD;
- 1 indicador que cubre la sensibilidad al contraste; y
- 8 indicadores de carácter más general que constituyen buenas prácticas que benefician a cualquier tipo de lector.

Al tratarse de indicadores que dependen de la opinión de expertos y, con el objetivo de conseguir unos resultados cuantitativos que posteriormente posibilitaran la comparación entre medios o el nivel de accesibilidad respecto a una puntuación máxima, se utilizó una escala de Likert de 7 puntos para el cálculo del grado de cumplimiento de cada ítem, cuyo rango va de 0 (peor puntuación posible) a 6 (mejor puntuación posible). Adicionalmente, se han añadido las opciones “No aplica” y “No es problema”, para aquellos casos en los cuales no sea pertinente la pregunta, o en los que el hecho de no cumplir con el indicador no deriva en un problema de accesibilidad, respectivamente. Un ejemplo de caso en el que un indicador no aplica, lo podemos encontrar en la no necesidad de disponer de una leyenda en el caso de gráficos estadísticos con una única serie de datos, o en la no necesidad de utilizar colores seguros o patrones cuando el gráfico sólo muestra una marca. Por lo que respecta al valor “No es problema”, aplica en casos como, por ejemplo, cuando se incluyen abreviaturas que no se desarrollan pero que son de uso común y muy conocidas por la audiencia.

El uso de las escalas de Likert permite al evaluador graduar su respuesta ante afirmaciones complejas en las cuales una respuesta afirmativa o negativa no son suficientes para valorar el cumplimiento del indicador. Es decir, convierte un indicador cualitativo en un valor cuantitativo. En la bibliografía científica encontramos numerosos ejemplos de experimentos que las han empleado para la puntuación de las heurísticas en procesos de evaluación de otros dominios específicos. Sin ánimo de ser exhaustivos, algunos trabajos de referencia son los de **Mankoff et al.** (2003), **Inostroza et al.** (2013), **Wetzlinger, Auinger y Dörflinger** (2014), **Joyce y Lilley** (2014), **Mi et al.** (2014) o **Bonastre y Granollers** (2014).

Dado que uno de los objetivos de este trabajo era validar la lista de indicadores heurísticos y, al ser la primera vez que se aplicaba en una evaluación, el sistema de puntuación anteriormente descrito se complementó con un campo de respuesta abierta para cada indicador en el que los evaluadores pudieron especificar las razones de la puntuación, así como anotar problemas de accesibilidad concretos y ciertos datos que les fueron solicitados para facilitar una posterior lectura enriquecida de los resultados. Esto ha complementado la evaluación puramente heurística con datos adicionales y homogéneos que hacen posible ver con mayor exactitud la frecuencia con la que se dan diversos problemas clave. Entre los datos solicitados, se recogieron características técnicas (formato, resolución, profundidad de bits...), ratios de contraste, textos alternativos, problemas asociados al título, abreviaturas, o la fuente de los datos, entre otros (tablas 8, 9 y 10).

Tabla 1. Respuestas posibles según el grado de cumplimiento de cada indicador

Evaluación	Nivel de cumplimiento
-	No aplica
-	No es problema
0	No cumplimiento
1	Cumplimiento muy bajo
2	Cumplimiento bajo
3	Cumplimiento aceptable
4	Cumplimiento alto
5	Cumplimiento muy alto
6	Cumplimiento excelente

Tras la aplicación de la escala, se utiliza un sistema de ponderación que posibilita asignar pesos distintos según la importancia de cada indicador. Su importancia viene determinada por los criterios especificados en la tabla 2.

Tabla 2. Criterios de aplicación para el sistema de ponderación

Criterio	Ponderación
En caso de no cumplirse, uno o más perfiles de usuario no tendrá una experiencia de usuario satisfactoria al consultar el gráfico, comprometiéndose levemente su accesibilidad para uno o más perfiles de usuario con baja visión. En caso de estar presente la accesibilidad del gráfico mejora levemente.	x1
En caso de no cumplirse, uno o más perfiles de usuarios tendrá serias dificultades para percibir la información del gráfico, comprometiéndose gravemente su accesibilidad para uno o más perfiles de usuario con baja visión. Funcionalidad que de estar presente mejora mucho la accesibilidad del gráfico.	x2
En caso de no cumplirse, uno o más perfiles de usuarios será incapaz de percibir la información del gráfico, comprometiéndose totalmente su accesibilidad para uno o más perfiles de usuario con baja visión. Funcionalidad que de estar presente mejora enormemente la accesibilidad del gráfico.	x3

Para obtener un valor final ponderado sobre 10, se emplea la siguiente fórmula:

$$\frac{(\sum_{i=1}^n \text{puntuación asignada } x \text{ ponderación}) * 10}{\sum_{i=1}^n \text{máxima puntuación } x \text{ ponderación}}$$

Donde n es el número de indicadores heurísticos.

La lista de indicadores heurísticos utilizada, junto con su definición, el perfil de usuario beneficiado de su cumplimiento y su ponderación se puede consultar en la tabla 3.

Tabla 3. Lista de indicadores heurísticos

ID	Nombre	Definición	Lista de verificación	Perfil de usuario beneficiado	Ponderación
H1	Título	El gráfico debe contar con un título breve y descriptivo que ayude al lector a identificarlo y diferenciarlo del resto que aparecen en la misma página, permitiéndoles navegar así entre ellos.	El gráfico tiene un título. El título es breve y descriptivo. El título ofrece una primera aproximación al contenido del gráfico y ayuda a diferenciarlo del resto de gráficos del documento. El título es texto real y no una imagen de texto.	Cualquier usuario.	x1
H2	Leyenda	El gráfico debe ofrecer leyendas que asocian unívocamente esquemas de color, patrones o formas utilizados en el gráfico con sus respectivas variables, siempre que sea necesario.	El gráfico cuenta con una leyenda. La leyenda explica la codificación empleada en el gráfico. La leyenda es texto real y no una imagen de texto.	Cualquier usuario.	x1
H3	Ejes	Los ejes del gráfico deben ser visibles y sus etiquetas adecuadas concisas y claras.	El gráfico cuenta con los ejes necesarios. Los ejes están etiquetados. Las etiquetas son horizontales. Si es pertinente, la escala y la unidad de medida se incluyen en el eje. Se incluye una cuadrícula sólo si es necesario.	Cualquier usuario.	x1
H4	Pie	El gráfico debe contar con un pie que contribuya a facilitar la comprensión de la información que se comunica, a excepción de que se trate de un gráfico muy simple que no lo precise.	El gráfico cuenta con un pie. El pie no se limita a repetir el título. El pie proporciona información adicional. Si corresponde, el pie ofrece información sobre los detalles del análisis estadístico (desviación estándar, valor p...) El pie se ofrece como texto y no como una imagen de texto.	Cualquier usuario.	x1
H5	Abreviaturas	Las abreviaturas utilizadas se desarrollan para facilitar su comprensión.	Las abreviaturas se desarrollan siguiendo un método estándar respaldado por las ayudas técnicas (elemento <abbr>, enlace a la forma desarrollada, etc.) Las formas desarrolladas se muestran como texto real y no como una imagen de texto.	Cualquier usuario.	x1
H6	Fuente de datos	Junto al gráfico, preferiblemente cerca del pie, se ofrece información acerca de la fuente de los datos (institución, conjunto de datos, fecha y enlace)	En algún lugar del gráfico, preferiblemente en el pie o cerca de él, se ofrece información sobre la fuente de los datos. En la fuente de datos se identifica la institución o empresa y se enlaza al conjunto de datos del que proceden los datos. La fuente de datos se muestra como texto y no como una imagen de texto.	Cualquier usuario.	x1

ID	Nombre	Definición	Lista de verificación	Perfil de usuario beneficiado	Ponderación
H7	Versión impresa	Se ofrece una versión del gráfico optimizada para impresión para aquellos usuarios que prefieran la consulta en este otro medio.	Es posible imprimir una versión del gráfico optimizada para el medio impreso. La versión impresa presenta una buena legibilidad. La versión impresa mantiene una buena legibilidad, incluso cuando se imprime en blanco y negro.	Cualquier usuario.	x1
H8	Alternativa textual	El gráfico cuenta con un texto alternativo que informa brevemente sobre el contenido del gráfico y ayuda a los usuarios a determinar si desean obtener más información al respecto. Si existe una descripción larga asociada al gráfico, se informa sobre ella.	El gráfico cuenta con una alternativa textual. La alternativa textual es breve y descriptiva. La alternativa textual no es redundante con el título.	Baja visión grave, especialmente usuarios de lector de pantalla.	x1
H9	Descripción larga	Todo gráfico complejo cuenta con una descripción larga que ofrece información equivalente.	La descripción larga proporciona información detallada sobre lo que se presenta visualmente, incluidas escalas, valores, relaciones y tendencias. Los valores de los datos se proporcionan a través de una tabla de datos. Los gráficos están estructuralmente asociados con la descripción larga.	Baja visión grave, especialmente usuarios de lector de pantalla.	x3
H10	Colores seguros	Los colores empleados en el gráfico para transmitir información pueden ser distinguidos por las personas con diferentes perfiles de VCD.	Se emplea un máximo de 5 colores seguros para diferenciar variables cualitativas, ordinales o cuantitativas. Alternativamente, los valores se diferencian mediante patrones o texturas.	VCD.	x3
H11	Contraste	Entre el texto y el fondo existe un contraste mínimo de 4,5:1. Entre los elementos no textuales (líneas, barras, etc.) adyacentes del gráfico, existe un contraste mínimo de 3:1.	Los colores empleados en el gráfico para transmitir información son distinguibles para los diferentes perfiles de VCD (protanopia, deuteranopia, tritanopia, acromatopsia...).	Sensibilidad al contraste.	x3
H12	Legibilidad	El diseño del gráfico se basa en criterios de composición de textos que aseguran una correcta legibilidad (fuente tipográfica, interlineado, espacio entre letras y palabras, uso comedido de mayúsculas y versalitas, etc.)	Se usa una fuente tipográfica adecuada para baja visión (sans serif) como, por ejemplo: Arial, Helvetica, Courier o Verdana, o fuentes diseñadas para baja visión como Tiresias, APHont o Eido. Se valora el uso de un tamaño de texto razonable, ampliable si el usuario lo precisa. El espacio entre letras y el espacio entre palabras deberían ser suficientes, el espacio entre líneas debería ser 1,5 El texto debe dejarse alineado a la izquierda. Se evita la silabificación. Se evita un uso excesivo de mayúsculas, versalitas y cursivas.	Baja visión moderada y grave.	x2
H13	Calidad de la imagen	Todos los gráficos, en particular los gráficos en formato de mapa de bits cuentan con una calidad suficiente para su correcta visualización y admiten un zoom mínimo de 200% sin desenfocarse, ni pixelarse.	El tamaño de imagen (en píxeles) debería ser suficiente para llegar al 200% de zoom sin que se desenfoque o se pixele. Los formatos de archivo más adecuados son PNG preferiblemente, o JPG con un nivel de compresión adecuado. La resolución es de, al menos, 150 ppp. La profundidad de bits es de 8 a 32 bits.	Baja visión moderada y grave.	x3
H14	Redimensionado	El gráfico se puede ampliar hasta un 200% sin la necesidad de contar con ninguna ayuda técnica diferente al navegador. Una vez ampliado, ningún elemento se superpone al gráfico y todas sus funcionalidades originales continúan estando disponibles.	Cuando se aplica un zoom de hasta un 200% sobre el gráfico, no se superpone ningún otro elemento presente en la página. El gráfico debe poder leerse sin tener que hacer <i>scroll</i> horizontal.	Baja visión moderada y grave.	x2
H15	Sin obstáculos en la visualización	En ocasiones, los editores de contenido utilizan elementos como marcas de agua o de autoría que superponen a las imágenes de texto, SVG o Canvas, dificultando su lectura. El objetivo de este indicador es asegurar que ningún elemento externo al gráfico dificulta o impide parcial o totalmente su lectura	No se superpone ningún elemento sobre el gráfico que pudiera comprometer su lectura (marcas de agua, publicidad...)	Cualquier usuario.	x3

ID	Nombre	Definición	Lista de verificación	Perfil de usuario beneficiado	Ponderación
H16	Foco visible	Se muestra un indicador visible para todos aquellos elementos del gráfico que puedan recibir el foco del ratón, teclado o táctil. Este criterio no aplica a los gráficos en formato de mapa de bits, sino sólo a los gráficos en formato SVG o implementados con bibliotecas de JavaScript.	Cuando un elemento seleccionable de un gráfico recibe el foco del ratón o el teclado, se muestra algún tipo de indicador que lo destaca.	Baja visión moderada y grave.	x1
H17	Navegación independiente del dispositivo	Tanto en dispositivos de sobremesa, como en dispositivos móviles es posible navegar mediante distintas interfaces (ratón, teclado o gestos táctiles). Para cumplir este indicador, los tipos de eventos o interacciones disponibles deben ser identificables y poder operarse mediante los diferentes tipos de interfaces disponibles. Este criterio no aplica a los gráficos en formato de mapa de bits, sino sólo a los gráficos en formato SVG o implementados con bibliotecas de JavaScript.	Es posible navegar a través de los elementos del gráfico mediante el teclado. Es posible navegar a través de los elementos del gráfico mediante el ratón. Es posible navegar a través de los elementos del gráfico mediante gestos táctiles.	Baja visión grave, especialmente usuarios de lector de pantalla. También usuarios con discapacidad motriz.	x3
H18	Personalización	Se permite a los usuarios personalizar las características de los gráficos (paleta de colores, contraste, familia tipográfica, tamaño del texto, interlineado, etc.). Cumplir con este indicador implica el uso de tecnologías compatibles con las ayudas técnicas pensadas para para este cometido. Alternativamente, es posible alcanzar el indicador, ofreciendo un sistema propio que permita personalizar la apariencia del gráfico.	El gráfico ofrece opciones de personalización específica. El gráfico es compatible con su personalización mediante terceras aplicaciones (ayudas técnicas, extensiones de navegador).	Baja visión moderada y grave y VCD	x2

Finalmente, con el objetivo de validar la eficacia del nuevo conjunto de indicadores (d) se calculan las siguientes métricas propuestas por Jiménez *et al.* (2017) considerando tanto los resultados obtenidos con las heurísticas propuestas, como con un conjunto de heurísticas de control (c) (anexo 1) formado por 14 criterios de conformidad extraídos de las WCAG 2.1. Para la selección de este subconjunto de criterios de conformidad se han tenido en cuenta sólo aquellos aplicables al perfil de usuario objeto de estudio de esta investigación. Esto incluye criterios referidos a la inclusión de alternativas textuales para el contenido gráfico, el uso del color, contraste, aspectos relacionados con la legibilidad como el espaciado del texto o el redimensionado de imágenes, o la compatibilidad en el acceso al contenido con interfaces como el teclado. En este último caso, conviene destacar que un importante porcentaje de personas con baja visión –el 39% de acuerdo con una encuesta conducida por WebAIM (2013)–, especialmente aquellas con una baja visión severa, acceden al contenido a través de lectores de pantalla en combinación con el teclado y otras ayudas técnicas como los magnificadores de pantalla, en detrimento del uso del ratón. Según la encuesta de WebAIM, el teclado es utilizado siempre o habitualmente por el 47,5% de las personas encuestadas como periférico para navegar por páginas web.

Tasa de problemas únicos: ayuda a descubrir cuál de los dos grupos de heurísticas encuentra más problemas únicos (p)

$$\Phi p = \frac{Pd}{Pc}$$

Tasa de dispersión de problemas: mide la distribución de los problemas (δ) en cada grupo de heurísticas a través de la desviación estándar de dicha distribución.

$$\delta p = \frac{\delta c}{\delta d}$$

Tasa de severidad: la relación entre la severidad promedio (λ) de los problemas detectados con uno y otro grupo. Para el cálculo de la severidad se tuvieron en cuenta los tres niveles de ponderación propuestos para el conjunto de heurísticas presentado y los tres niveles de conformidad propios de las WCAG (A, AA y AAA).

$$\lambda p = \frac{\lambda d}{\lambda c}$$

Tasa de especificidad: relaciona los promedios de especificidad (ϵ) de ambos grupos. Para calcularlo se tuvieron en cuenta dos niveles de especificidad: uno para los indicadores aplicables a cualquier tipo de sitio web o aplicación, y otro para los indicadores sólo aplicables a gráficos estadísticos.

$$\epsilon_p = \frac{\epsilon_d}{\epsilon_c}$$

En todas las métricas anteriores, si el resultado es superior a 1, el conjunto de heurísticas propuesto presenta un mejor rendimiento.

2.3. Selección de la muestra

Una vez establecido el método, a partir de los principales medios generalistas nacionales y de dos diarios internacionalmente reconocidos por su buena labor en el ámbito de la visualización de datos, se propuso una lista de gráficos estadísticos que posibilitaran comparar el estado de la accesibilidad de medios representativos españoles con dos referentes internacionales. Para la confección de la lista de medios nacionales se tuvieron en cuenta los datos del *Estudio general de medios (EGM)* (Asociación para la Investigación de Medios de Comunicación, 2019), uno de los principales sistemas de medición de audiencias en España. Los diarios con mayor audiencia de acuerdo con la segunda ola de 2019 son los siguientes:

- *El país*.
<https://elpais.com>
- *El mundo*.
<https://www.elmundo.es>
- *La vanguardia*.
<https://www.lavanguardia.com>
- *ABC*.
<https://www.abc.es>
- *El periódico*.
<https://www.elperiodico.com>

Por lo que respecta a los dos diarios internacionales seleccionados, más allá de ser referentes internacionales en la elaboración de gráficos e infografías, también son, según Alexa¹, los dos diarios digitales que mayor tráfico reciben a nivel mundial, situados en las posiciones 3 y 6 de la categoría de sitios de Internet de noticias, respectivamente:

- *The New York times*.
<https://www.nytimes.com>
- *The guardian*.
<https://www.theguardian.com>

El procedimiento de selección de los gráficos a analizar ha consistido en el vaciado sistemático de los sitios webs de los diarios durante el mes de octubre de 2019, seleccionándose un total de 5 gráficos de cada uno de los medios analizados, lo que supone una muestra total de 35 gráficos. La lista completa de gráficos se puede consultar en el anexo 2. Durante el proceso de selección se incluyeron mayoritariamente gráficos de barras y líneas, los más comunes en la prensa, alguno circular pues, aunque su uso es controvertido, sigue siendo un gráfico común, y unas pocas variaciones de los dos principales también de uso generalizado, cuya distribución exacta se puede consultar en la tabla 4. Se han descartado otros tipos de visualizaciones complejas diferentes a gráficos estadísticos como infografías o gráficos con un componente geográfico.

Tabla 4. Distribución según tipo de gráfico

Tipo de gráfico	Número de gráficos analizados
Barras	14
Líneas	13
Circular	4
Barras apiladas	2
Barras y líneas	1
Diagrama de puntos	1

2.4. Tecnologías de apoyo

Para la evaluación de los indicadores se utilizaron herramientas de soporte como:

- *NoCoffee Vision Simulator*². Una extensión de navegador que simula los diferentes tipos de VCD y sensibilidad al contraste.
- *Contrast Checker*³. Una aplicación web que determina si la ratio de contraste entre dos colores alcanza los niveles de conformidad mínimos de las WCAG tanto para texto como para elementos gráficos (novedad introducida en las WCAG 2.1).
- *MediaInfo*⁴. Un programa que provee información de carácter técnico y metadatos de un fichero.
- *NVDA 2019.2.1*⁵. Software lector de pantalla.

3. Resultados

Los resultados de rendimiento (tabla 5) muestran que los indicadores propuestos son capaces de detectar una mayor cantidad de problemas únicos, presentan una mejor distribución de los problemas entre heurísticos y ayudan a detectar problemas más severos y específicos que las WCAG. Si bien estas directrices pueden presentar unos criterios de conformidad suficientes para evaluar la accesibilidad del contenido web, el hecho de tratarse de unas directrices pensadas para satisfacer las necesidades de un gran abanico de recursos digitales, hace que no aborden de manera específica todos los aspectos aplicables a los gráficos estadísticos.

La figura 6 muestra los resultados finales de la evaluación por gráfico. Por su parte, la figura 7 muestra las notas medias por diario y las medias nacional, internacional y global de las cuatro evaluaciones realizadas.

En relación con los heurísticos propuestos, algunos son aplicables a sólo un subgrupo de gráficos, como por ejemplo H5 aplicable solo a 19 gráficos, o H16 y H17 aplicables a 13 gráficos. Con mayor incidencia, pero no aplicable aún a todos los gráficos, H2 solo se ha podido medir en 28 de ellos.

H9 ha sido valorado en un 88,6% de las ocasiones con un 0 (no cumplimiento). Algunos heurísticos como H2, H3, H5, H12, H13 y H14, raramente bajan de una puntuación de 1 (5, 4, 7, 5, 1 y 8 veces, respectivamente). Otros nunca (H17) o raramente (H5, H6, H9 y H16) obtienen la puntuación máxima. Heurísticos como H9 y H16 raramente obtienen una puntuación igual o superior al 4 sobre 6 (3 y 5 veces respectivamente). H17 siempre se ha evaluado (en los casos que era aplicable) con un 0. Este último valor fuerza a los autores a revisar este indicador en sucesivas versiones de la lista.

Por otro lado, 10 indicadores (H4, H5-H9, H11, H16-H18) obtienen una valoración media por debajo de 3 sobre 6 (cumplimiento aceptable), de los cuales 4 (H5, H8-H9 y H17), por debajo de 1 sobre 6 y 3 (H4, H16 y H18) entre 1 y 2. Es decir, en conjunto la realización de los gráficos en los aspectos reflejados por estos heurísticos está muy por debajo de lo deseable. Solo 3 indicadores tienen un cumplimiento entre 3 y 4 de media (aceptable) (H1, H10 y H12) y solo 5 un cumplimiento entre 4 y 5 de media (cumplimiento alto) (H2-H3, H14-H15). Ninguno de ellos tiene un cumplimiento muy alto o excelente de media.

Si bien los resultados ponderados de la evaluación heurística se muestran sobre 10, esto no implica que alcanzar una nota de 5 signifique que el gráfico presenta una accesibilidad suficiente. Como se ha comentado anteriormente, la gran variabilidad presente en el perfil de usuarios con baja visión implica que no cumplir con indicadores como los relacionados con el contraste o el uso de colores seguros para las personas con VCD, resulte en gráficos que no serán accesibles para ellos.

Tabla 5. Resultado de las métricas de rendimiento

Tasa de problemas únicos	340 / 134 = 2,54
Tasa de dispersión de problemas	0,68 / 0,45 = 1,52
Tasa de severidad	0,76 / 0,71 = 1,07
Tasa de especificidad	1,27 / 1 = 1,27

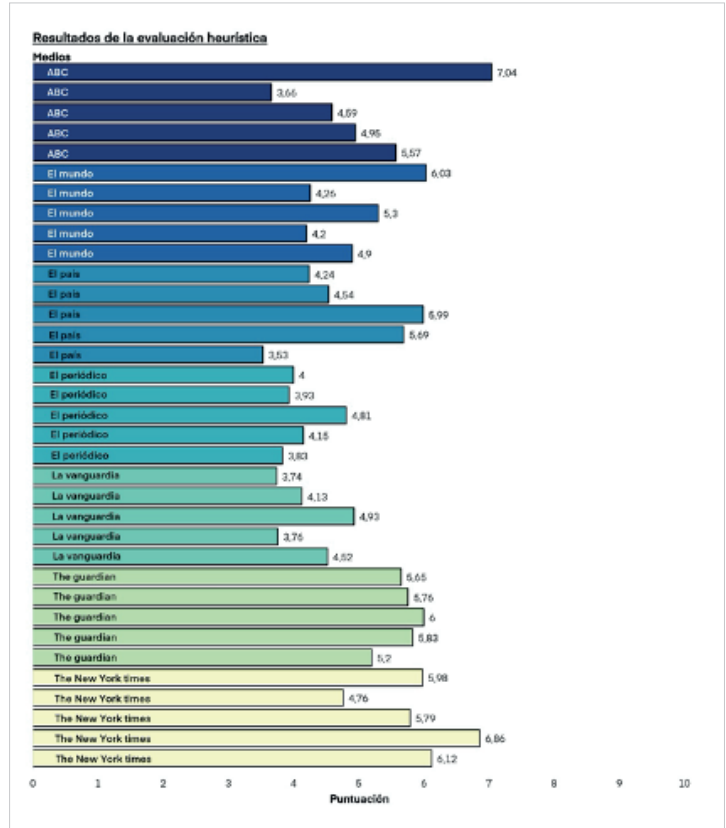


Figura 6. Resultados de la evaluación heurística

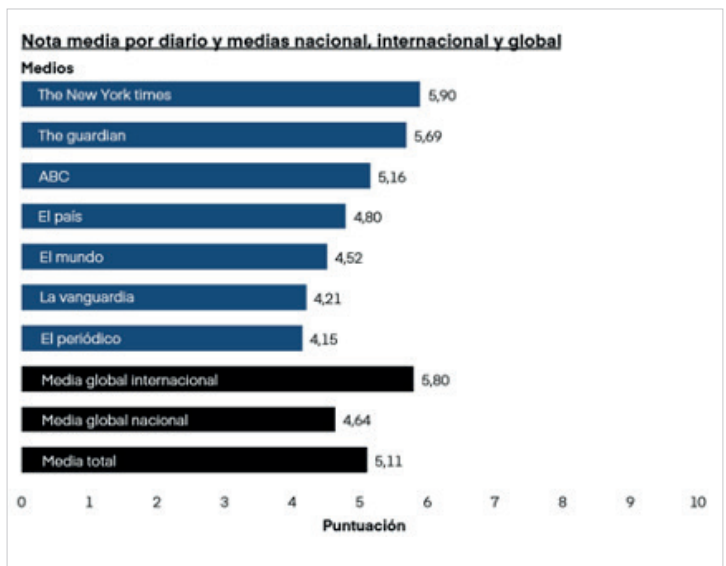


Figura 7. Nota media por diario y medias nacional, internacional y global de las cuatro evaluaciones realizadas

Desde un punto meramente cuantitativo, los gráficos presentes en los dos medios internacionales han obtenido mejores puntuaciones que los nacionales, en general por el mayor uso de gráficos vectoriales que facilitan la lectura y personalización del texto incluido en ellos, por mejores prácticas en la redacción de títulos y, en el caso de *The guardian*, por un mejor cumplimiento de los requisitos de contraste. Con ello podemos observar la importancia de un estilo editorial y del buen uso del software para la creación de gráficos empleado, caminos ambos que quiere potenciar la investigación llevada a cabo por los autores.

Las tablas 8, 9 y 10, muestran los datos adicionales de cada gráfico recogidos por los evaluadores.

Tabla 8. Características técnicas

ID	Formato	Píxeles horizontales	Píxeles verticales	Profundidad de bits	Resolución en ppp
1	JPG	720	696	24	72
2	JPG	720	452	24	72
3	SVG	-	-	-	-
4	JPG	1.960	3.343	24	72
5	JPG	1.960	1.164	24	72
6	JPG	540	1.403	24	96
7	JPG	600	400	24	96
8	JPG	540	821	24	96
9	JPG	542	921	24	72
10	SVG	-	-	-	-
11	PNG	185	303	32	300
12	PNG	586	303	24	300
13	SVG	-	-	-	-
14	PNG	656	399	24	128
15	PNG	656	970	24	72
16	JPG	1.240	698	24	300
17	JPG	2.125	1.456	24	300
18	JPG	510	345	24	96
19	JPG	508	286	24	59
20	JPG	1.593	1.718	24	72
21	JPG	1.200	764	24	72
22	JPG	1.200	674	24	72
23	SVG	-	-	-	-
24	JPG	1.200	674	24	72
25	JPG	1.200	674	24	72
26	PNG	1.140	308	32	96
27	SVG	-	-	-	-
28	SVG	-	-	-	-
29	JPG	600	399	24	72
30	SVG	-	-	-	-
31	SVG	NA	NA	NA	NA
32	SVG	-	-	-	-
33	SVG	-	-	-	-
34	SVG	-	-	-	-
35	SVG	-	-	-	-

Tabla 9. Buenas prácticas y alternativas textuales

ID	Título	Ejes	Abreviaturas	Fuente de datos / Fecha de la fuente / Enlace a la fuente	Versión impresión / Versión impresión cortada / Versión impresión con solapamientos	Texto alternativo corto	Descripción larga
1	Con título, pero no breve ni descriptivo	NA	NA	Con fuente de datos. No No	Sí No No	Con texto alternativo pero inadecuado.	No
2	Con título, pero no breve ni descriptivo	Con ejes, pero sin indicar las unidades de medida.	NA	Con fuente de datos. No Sí	Sí No No	Con texto alternativo pero inadecuado.	No
3	Con título, pero no breve ni descriptivo	Con ejes, pero sin etiquetar.	NA	Con fuente de datos. Sí No	Sí No No	No	No
4	Con título	Con ejes	NA	Con fuente de datos. No No	Sí Sí No	Con texto alternativo pero inadecuado.	No
5	Con título	Con ejes	Sin desarrollar, pero de uso común.	Con fuente de datos. No No	Sí No No	Con texto alternativo pero inadecuado.	No
6	Con título	Con ejes, pero sin indicar las unidades de medida.	NA	Con fuente de datos. No No	Sí Sí Sí	No	No
7	Con título	Con ejes, pero sin etiquetar.	NA	Sin fuente de datos. No No	Sí No No	No	No
8	Con título	Con ejes	NA	Con fuente de datos. No No	Sí No No	No	No
9	Con título	Con ejes	Sin desarrollar, pero de uso común.	Con fuente de datos. Sí No	Sí No No	No	No
10	Con título	Con ejes, pero sin indicar las unidades de medida.	NA	Con fuente de datos. Sí No	Sí Sí No	No	No
11	Con título	NA	Sin desarrollar, pero de uso común.	Con fuente de datos. Sí No	Sí Sí No	Con texto alternativo corto.	No
12	Con título	NA	NA	Con fuente de datos. No No	Sí No No	No	No
13	Con título, pero no breve ni descriptivo	Con ejes, pero sin etiquetar.	NA	NA NA NA	Sí Sí No	No	No
14	Con título, pero no breve ni descriptivo	Con ejes	NA	Con fuente de datos. No No	Sí No Sí	Con texto alternativo pero inadecuado.	No
15	Con título	Con ejes	NA	Con fuente de datos. Sí No	Sí Sí No	No	No
16	Con título	Con ejes	Sin desarrollar.	Con fuente de datos. No No	Sí No No	No	No
17	Con título, pero no breve ni descriptivo	Con ejes	NA	Con fuente de datos. No No	Sí No No	No	No
18	Sin título	Con ejes pero texto inclinado.	Sin desarrollar, pero de uso común.	Sin fuente de datos. No No	Sí No No	Con texto alternativo corto.	No

ID	Título	Ejes	Abreviaturas	Fuente de datos / Fecha de la fuente / Enlace a la fuente	Versión impresión / Versión impresión cortada / Versión impresión con solapamientos	Texto alternativo corto	Descripción larga
19	Con título	NP	NA	Con fuente de datos. No No	Sí No No	No	No
20	Con título	Con ejes	NA	Con fuente de datos. Sí No	Sí No No	No	Sí
21	Con título	Con ejes pero texto inclinado.	Sin desarrollar, pero de uso común.	Sin fuente de datos. No No	Sí No Sí	Con texto alternativo corto.	No
22	Con título	NA	Sin desarrollar, pero de uso común.	Sin fuente de datos. No No	Sí No Sí	Con texto alternativo corto.	No
23	Con título	NP	NA	Con fuente de datos. No No	Sí Sí No	No	No
24	Sin título	NA	NA	Sin fuente de datos. No No	Sí No Sí	Con texto alternativo corto.	No
25	Con título	NA	Desarrolladas.	Con fuente de datos. No No	Sí No Sí	Con texto alternativo pero inadecuado.	No
26	Con título, pero no breve ni descriptivo	Con ejes, pero sin indicar las unidades de medida.	Sin desarrollar, pero de uso común.	Con fuente de datos. Sí No	No NA NA	No	No
27	Con título	Con ejes	NA	Con fuente de datos. No No	No NA NA	No	No
28	Con título, pero no breve ni descriptivo	Con ejes, pero sin etiquetar.	NA	Con fuente de datos. No No	No NA NA	No	No
29	Con título	Con ejes, pero sin indicar las unidades de medida.	NA	Con fuente de datos. No No	No NA NA	No	No
30	Con título	Con ejes	NA	Con fuente de datos. No No	No NA NA	No	No
31	Con título	Con ejes	Sin desarrollar.	Con fuente de datos. No No	No NA NA	No	No
32	Con título	Con ejes	NA	Con fuente de datos. No No	No NA NA	No	No
33	Sin título	Con ejes	NA	Con fuente de datos. No No	No NA NA	No	No
34	Con título	Con ejes	Sin desarrollar, pero de uso común.	Con fuente de datos. No No	No NA NA	No	No
35	Con título	Con ejes	NA	Con fuente de datos. No No	No NA NA	No	No

Excepto 3, todos los gráficos analizados cuentan con un título, si bien en un pequeño porcentaje de ellos (8 de 35) no se trata de un título breve y descriptivo que ayude al lector a identificarlo y diferenciarlo del resto de gráficos incluidos en la misma página.

Por lo que respecta al uso de ejes, todos los gráficos que los precisan cuentan con ellos, si bien en 4 casos se encuentran sin etiquetar. Por otro lado, en 5 de los gráficos no se indican las unidades de medida empleadas. Finalmente, en 2 casos se muestran sus etiquetas con el texto inclinado, lo que dificulta su lectura.

De los 35 gráficos, sólo 2 muestran las abreviaturas sin desarrollar, en el resto de los casos o no se utilizan abreviaturas o el hecho de no desarrollarlas no supone un problema por tratarse de abreviaturas suficientemente estandarizadas y familiares para el lector.

La gran mayoría de los gráficos analizados incluyen la fuente de datos utilizada para crear la visualización (29 de 35), si bien son pocos los que aportan la fecha (7 de 35) o enlazan a la fuente (1 de 35). Este hecho disminuye la capacidad del lector de acudir a los datos tabulares tanto para fines de accesibilidad como de validación de los datos presentados.

Por lo que respecta a la versión para impresión, ninguno de los medios analizados cuenta con una hoja de estilos específica para este medio. En los dos medios internacionales, tanto *The guardian* como *The New York times* han optado por no incluir estas imágenes en la versión impresa. En el resto de medios, encontramos 7 casos en los cuales el gráfico aparece cortado entre dos páginas, 6 en los que algún otro elemento se solapa con el gráfico impidiendo total o parcialmente su lectura y 5 casos en los que la calidad de la imagen es insuficiente para una lectura satisfactoria.

Ninguno de los gráficos analizados cuenta con un pie de imagen, limitándose a usar su espacio para incluir la fuente en aquellos casos en los que se proporciona información sobre ella. Este hecho quizá no es muy grave en gráficos de prensa por su sencillez, pero puede alcanzar mayor peso en gráficos educativos o de artículos científicos en los que la validez estadística y otros datos complementarios tienen mayor relevancia.

La mayoría de los gráficos analizados no cuentan con ninguna alternativa de texto (alternativa corta o descripción larga). En 24 de los 35 gráficos no consta ningún tipo de alternativa textual corta. En las imágenes en formato de mapa de bits, nos referimos al atributo *alt* que, o bien no se utiliza, o se encuentra vacío. Este atributo, además de encontrarse entre los criterios de conformidad para alcanzar el nivel de accesibilidad mínimo exigido por la legislación española, también otorga beneficios a nivel de posicionamiento web al ser un contenido indexado por los buscadores (Ferraz, 2017). Por lo que respecta a las imágenes en formato SVG, a pesar de ser totalmente compatibles y existir una especificación concreta del *World Wide Web Consortium* (2018b) para su descripción con el estándar *WAI-ARIA* (*World Wide Web Consortium*, 2017), tampoco encontramos estos atributos para describir el contenido del gráfico, ni de cada uno de sus elementos. Sólo 11 de los 35 gráficos cuentan con un texto alternativo corto; no obstante, 6 de ellos no son adecuados para identificar el gráfico.

Todos los gráficos analizados, excepto uno, carecen de una alternativa en forma de descripción larga. La excepción es un gráfico que se complementa con un buscador que muestra la información del gráfico en formato tabla. Las descripciones largas son imprescindibles para que ciertos perfiles de discapacidad visual como las personas ciegas, puedan acceder al contenido de imágenes complejas como son los gráficos estadísticos. Son útiles para las personas que presentan un resto de visión muy bajo e interactúan con lectores de pantalla, y en los gráficos en formato de imagen de mapa de bits facilita a todos los perfiles el poder buscar un valor concreto de los visualizados en el gráfico. Si bien en alguno de los casos analizados, podríamos entender que la descripción larga es el mismo artículo, en ninguno podemos afirmar que este suponga una descripción completa y pormenorizada de toda la información que contiene el gráfico.

Tabla 10. Contraste, legibilidad y características adicionales

ID	Contraste textual	Contraste no textual	Fuente tipográfica	Elementos que obstaculizan la visión del gráfico	Zoom	Foco visible	Accesible por teclado
1	Contraste suficiente (4,5:1 o más)	Contraste insuficiente (2,43:1)	Tamaño de fuente adecuado.	Marca de agua	El gráfico se puede redimensionar, pero la imagen pierde calidad.	NA	NA
2	Contraste suficiente (4,5:1 o más)	Contraste suficiente (3:1 o más)	Tamaño de fuente pequeño	Sin elementos que obstaculizan la visión del gráfico.	El gráfico se puede redimensionar.	NA	NA
3	Contraste suficiente (4,5:1 o más)	Contraste insuficiente (1,99:1)	Tamaño de fuente pequeño	Sin elementos que obstaculizan la visión del gráfico.	El gráfico se puede redimensionar.	No	No
4	Contraste suficiente (4,5:1 o más)	Contraste insuficiente (1,79:1)	Tamaño de fuente adecuado.	Sin elementos que obstaculizan la visión del gráfico.	El gráfico se puede redimensionar.	NA	NA
5	Contraste insuficiente (1,92:1)	Contraste insuficiente (2,76:1)	Tamaño de fuente pequeño	Sin elementos que obstaculizan la visión del gráfico.	El gráfico se puede redimensionar.	NA	NA
6	Contraste suficiente (4,5:1 o más)	Contraste insuficiente (indicar)	Tamaño de fuente pequeño	Sin elementos que obstaculizan la visión del gráfico.	El gráfico se puede redimensionar.	NA	NA

ID	Contraste textual	Contraste no textual	Fuente tipográfica	Elementos que obstaculizan la visión del gráfico	Zoom	Foco visible	Accesible por teclado
7	Contraste suficiente (4,5:1 o más)	Contraste suficiente (3:1 o más)	Tamaño de fuente adecuado.	Banners publicitarios	El gráfico se puede redimensionar, pero la imagen pierde calidad.	NA	NA
8	Contraste suficiente (4,5:1 o más)	Contraste suficiente (3:1 o más)	Tamaño de fuente pequeño	Sin elementos que obstaculizan la visión del gráfico.	El gráfico se puede redimensionar.	NA	NA
9	Contraste suficiente (4,5:1 o más)	Contraste insuficiente (1,72:1)	Tamaño de fuente pequeño	Sin elementos que obstaculizan la visión del gráfico.	El gráfico se puede redimensionar.	NA	NA
10	Contraste insuficiente (3,02:1)	Contraste insuficiente (3,02:1)	Tamaño de fuente pequeño	Banners publicitarios	El gráfico se puede redimensionar.	Sí	No
11	Contraste suficiente (4,5:1 o más)	Contraste suficiente (3:1 o más)	Tamaño de fuente pequeño	Sin elementos que obstaculizan la visión del gráfico.	El gráfico se puede redimensionar, pero la imagen pierde calidad.	NA	NA
12	Contraste suficiente (4,5:1 o más)	Contraste insuficiente (1,33:1)	Tamaño de fuente pequeño	Banners publicitarios	El gráfico se puede redimensionar, pero la imagen pierde calidad.	NA	NA
13	Contraste insuficiente (2,46:1)	Contraste insuficiente (2,46:1)	Tamaño de fuente pequeño	Sin elementos que obstaculizan la visión del gráfico.	El gráfico se puede redimensionar, pero se solapa con otros elementos.	Sí	No
14	Contraste suficiente (4,5:1 o más)	Contraste insuficiente (2,53:1)	Tamaño de fuente pequeño	Banners publicitarios	El gráfico se puede redimensionar, pero se solapa con otros elementos.	NA	NA
15	Contraste suficiente (4,5:1 o más)	Contraste insuficiente (1,62:1)	Tamaño de fuente adecuado.	Banners publicitarios	El gráfico se puede redimensionar.	NA	NA
16	Contraste suficiente (4,5:1 o más)	Contraste suficiente (3:1 o más)	Tamaño de fuente pequeño	Sin elementos que obstaculizan la visión del gráfico.	El gráfico se puede redimensionar.	NA	NA
17	Contraste suficiente (4,5:1 o más)	Contraste insuficiente (1,71:1)	Tamaño de fuente pequeño	Banners publicitarios	El gráfico se puede redimensionar.	NA	NA
18	Contraste suficiente (4,5:1 o más)	Contraste insuficiente (1,7:1)	Tamaño de fuente pequeño	Sin elementos que obstaculizan la visión del gráfico.	El gráfico se puede redimensionar, pero la imagen pierde calidad.	NA	NA
19	Contraste suficiente (4,5:1 o más)	Contraste insuficiente (1,36:1)	Tamaño de fuente pequeño	Sin elementos que obstaculizan la visión del gráfico.	El gráfico se puede redimensionar, pero la imagen pierde calidad.	NA	NA
20	Contraste suficiente (4,5:1 o más)	Contraste suficiente (3:1 o más)	Tamaño de fuente pequeño	Sin elementos que obstaculizan la visión del gráfico.	El gráfico se puede redimensionar.	NA	NA
21	Contraste suficiente (4,5:1 o más)	Contraste insuficiente (1,23:1)	Tamaño de fuente pequeño	Banners publicitarios	El gráfico se puede redimensionar.	NA	NA
22	Contraste suficiente (4,5:1 o más)	Contraste insuficiente (1,02:1)	Tamaño de fuente pequeño	Banners publicitarios	El gráfico se puede redimensionar, pero se solapa con otros elementos.	NA	NA
23	Contraste suficiente (4,5:1 o más)	Contraste insuficiente (1,76:1)	Tamaño de fuente pequeño	Sin elementos que obstaculizan la visión del gráfico.	El gráfico se puede redimensionar, pero se solapa con otros elementos.	No	No
24	Contraste suficiente (4,5:1 o más)	Contraste insuficiente (1,23:1)	Tamaño de fuente adecuado.	Banners publicitarios	El gráfico se puede redimensionar, pero la imagen pierde calidad.	NA	NA
25	Contraste insuficiente (2,52:1)	Contraste insuficiente (1,09:1)	Tamaño de fuente adecuado.	Banners publicitarios	El gráfico se puede redimensionar, pero se solapa con otros elementos.	NA	NA

ID	Contraste textual	Contraste no textual	Fuente tipográfica	Elementos que obstaculizan la visión del gráfico	Zoom	Foco visible	Accesible por teclado
26	Contraste suficiente (4,5:1 o más)	Contraste suficiente (3:1 o más)	Tamaño de fuente pequeño	Sin elementos que obstaculizan la visión del gráfico.	El gráfico se puede redimensionar, pero se solapa con otros elementos.	NA	NA
27	Contraste suficiente (4,5:1 o más)	Contraste suficiente (3:1 o más)	Tamaño de fuente pequeño	Sin elementos que obstaculizan la visión del gráfico.	El gráfico se puede redimensionar.	No	No
28	Contraste suficiente (4,5:1 o más)	Contraste insuficiente (2,32:1)	Tamaño de fuente pequeño	Sin elementos que obstaculizan la visión del gráfico.	El gráfico se puede redimensionar.	No	No
29	Contraste suficiente (4,5:1 o más)	Contraste insuficiente (1,49:1)	Tamaño de fuente pequeño	Sin elementos que obstaculizan la visión del gráfico.	El gráfico se puede redimensionar.	NA	NA
30	Contraste suficiente (4,5:1 o más)	Contraste insuficiente (1,68:1)	Tamaño de fuente pequeño	Sin elementos que obstaculizan la visión del gráfico.	El gráfico se puede redimensionar.	No	No
31	Contraste suficiente (4,5:1 o más)	Contraste insuficiente (2,09:1)	Tamaño de fuente pequeño	Sin elementos que obstaculizan la visión del gráfico.	El gráfico se puede redimensionar.	No	No
32	Contraste suficiente (4,5:1 o más)	Contraste insuficiente (1,7:1)	Tamaño de fuente pequeño	Sin elementos que obstaculizan la visión del gráfico.	El gráfico se puede redimensionar.	No	No
33	Contraste suficiente (4,5:1 o más)	Contraste suficiente (3:1 o más)	Tamaño de fuente pequeño	Sin elementos que obstaculizan la visión del gráfico.	El gráfico se puede redimensionar, pero se solapa con otros elementos.	No	No
34	Contraste insuficiente (1,7:1)	Contraste insuficiente (1,87:1)	Tamaño de fuente pequeño	Sin elementos que obstaculizan la visión del gráfico.	El gráfico se puede redimensionar.	No	No
35	Contraste insuficiente (1,96:1)	Contraste insuficiente (1,7:1)	Tamaño de fuente pequeño	Sin elementos que obstaculizan la visión del gráfico.	El gráfico se puede redimensionar.	NA	NA

En general, no se observa un uso sistemático de paletas de colores seguras, sino que cada gráfico parece crearse siguiendo criterios estéticos y formales totalmente diferentes. Se echan en falta guías o manuales de estilo de uso generalizado en los medios de comunicación analizados, a pesar de saberse de la existencia de dichas guías para otros aspectos de la redacción. La única excepción en este sentido es el diario *The guardian*, en el cual sí que encontramos una cierta homogeneidad de colores y diseño.

Por lo que respecta al contraste, 26 gráficos presentan una ratio entre colores adyacentes inferior a la ratio exigida como novedad por las WCAG 2.1 en su nivel AA (3:1). Mientras que tan sólo en 6 gráficos se ha identificado un contraste entre texto y fondo inferior al requerido.

En casi el 75% de los gráficos analizados, el contraste entre colores adyacentes presenta una ratio inferior a la requerida

Un requisito, este último, que ya constaba en las WCAG 1 y 2. No obstante, en muchos casos, la ratio exigida de 4,5:1, se alcanza al límite, al utilizarse tonos de gris para el texto, en lugar de negro u otros colores con mayor contraste.

Si bien las WCAG no especifican una fuente o tamaño mínimo requerido para el texto, sino que se centran en permitir al usuario poder personalizar ambas, existe el consenso generalizado de considerar las fuentes sin serifa y los 12pt (o los 16px equivalentes) como un estándar para la lectura en pantalla (Nielsen, 2002). Estas recomendaciones tienen su origen y tenían sentido en un momento en el que se contaba con pantallas con una resolución muy inferior a las de las que se pueden encontrar hoy en el mercado (Nielsen, 2012). Trabajos como el de Bernard, Liao y Mills (2014) han comparado diferentes fuentes y tamaños en relación con su legibilidad y velocidad de lectura, pero no son suficientes para extraer conclusiones. Por lo que respecta a los gráficos que nos ocupan, si bien todos emplean fuentes sin serifa —a excepción de algunas fuentes con serifa observadas en unos pocos títulos—, 29 de los 35 gráficos presentan un tamaño de fuente para los ejes, etiquetas y pies inferior a los 16px. Además, como se ha comentado, el problema no radica tanto en el valor, como en el hecho de que la mayoría de los gráficos son imágenes en formato de mapa de bits (23 de 35), por lo que modificar las características del texto (tamaño, fuente, etc.), resulta imposible, algo que técnicamente es mucho más fácil de llevar a cabo sobre los gráficos en formato SVG analizados (12 de 35). En cuanto a los formatos de mapa de bits empleados, la gran mayoría de las imágenes son ficheros JPG (18 de 23), mientras que tan sólo 5 son imágenes en formato PNG. El formato PNG presenta un mejor rendimiento frente a JPEG en la compresión de imágenes formadas por grandes áreas de color uniformes. Por contra, JPEG a pesar de poder alcanzar tasas de compresión superiores, lo hace en

detrimento de algunos detalles que pueden resultar en una calidad final inferior, así como en la aparición de “artefactos” en grandes áreas uniformes de color y texto.

El hecho de disponer de sitios web con diseños *responsivos*⁶ fomenta que las imágenes ampliadas con zoom ocupen el 100% de la pantalla con una visualización completa y sin elementos superpuestos. Incluso en webs que aplican diseños *responsivos*, en algunas ocasiones elementos como los menús de navegación fijos en la cabecera ocupan una parte importante de la interfaz e impiden ver el gráfico por completo. En este sentido, si bien todos los gráficos analizados se pudieron redimensionar hasta un 200% para aumentar su tamaño, en 7 casos la imagen no presentaba la calidad suficiente para asegurar una correcta legibilidad por su baja resolución y tamaño iniciales, y en otros 7 casos se solapaba con otros elementos presentes en la página.

Varios medios nacionales mostraban banners publicitarios superpuestos a los gráficos dificultando o imposibilitando su lectura

10 de los 35 gráficos mostraban banners publicitarios superpuestos dificultando o imposibilitando con su aparición la lectura del gráfico. En uno de los gráficos se incluía una marca de agua de autoría que imposibilitaba la lectura de parte del gráfico.

Por lo que respecta a las características y funciones adicionales, ninguno de los gráficos analizados en formato SVG era accesibles a través del teclado, imponiendo límites importantes a aquellos usuarios que usan esta interfaz en combinación con un lector de pantalla. En el mismo sentido, en la mayoría de los gráficos, los elementos que los componen (barras, líneas, etc.) tampoco eran capaces de recibir el foco del ratón o el teclado, ni estaban etiquetados convenientemente para que, una vez el usuario llega a ellos, pueda acceder a la información o el dato que representan.

Por lo que respecta a la personalización, los gráficos en formato de mapa de bits no cumplen con este requisito al tratarse de representaciones estáticas sobre las cuales difícilmente se pueden aplicar cambios en la tipografía, tamaño del texto, combinaciones de colores, etc. En el caso de los gráficos en formato SVG, estos sí presentan una mejor compatibilidad con ayudas técnicas o extensiones de navegador que facilitan a los usuarios el uso de hojas de estilo específicas adaptadas a sus necesidades y preferencias. Por otro lado, ninguno de los gráficos analizados cuenta con opciones de personalización propias como empieza a ser habitual en otros tipos de contenido.

4. Discusión

La mayoría de los gráficos analizados (25 de 35) utiliza imágenes en formato de mapa de bits para ser incorporados a las noticias. No obstante, algunos de estos medios han empezado a implementar –en el caso de los españoles, tímidamente–, tecnologías basadas en la Web que hacen posible la creación de gráficos dinámicos e interactivos en sustitución del software ofimático de hojas de cálculo o programas específicos de diseño que tradicionalmente se venía empleando. Este tipo de tecnologías abre las puertas a todo un nuevo conjunto de posibilidades que pueden mejorar la accesibilidad de los gráficos resultantes. En primer lugar, el hecho de tratarse de una imagen no estática favorece la inclusión de texto real en los gráficos (título, ejes, etiquetas, leyendas...), pudiendo convertirse este con facilidad a otros formatos o presentaciones. También admiten una buena compatibilidad con interfaces de teclado y lectores de pantalla, característica que beneficia a los usuarios con muy poco resto de visión o que utilizan estas ayudas técnicas en combinación con otras como los magnificadores de pantalla. El hecho de tratarse de elementos nativos del estándar HTML que se insertan en el

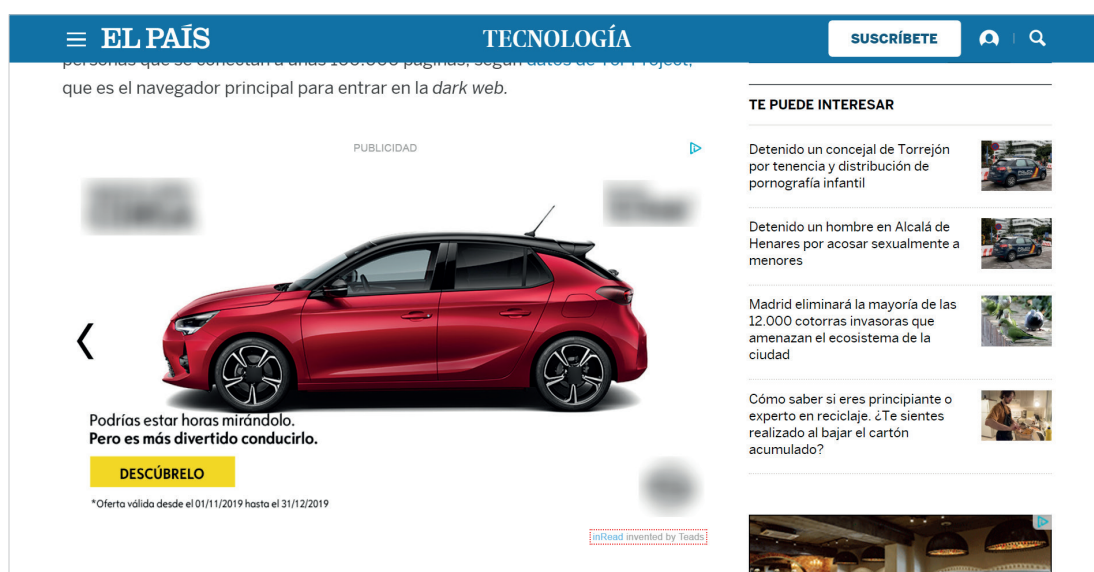


Figura 8. Banner publicitario superpuesto totalmente sobre un gráfico y que no ofrece mecanismos para ser cerrado. Fuente: *El país*.

Modelo de Objetos del documento (en inglés, DOM), les confiere un alto grado de personalización, permitiendo su manipulación en vistas a ofrecer diferentes versiones de un mismo gráfico. La posibilidad de personalización es una característica de interés extremadamente útil vista la variabilidad existente entre el perfil de usuarios de baja visión. Esta funcionalidad puede venir dada por el creador del gráfico, ofreciendo una interfaz personalizable, o facilitarse a través de la implementación de estándares y tecnologías compatibles con terceras aplicaciones que sean capaces de acceder a las hojas de estilo de la página y modificar sus propiedades, posibilitando a cada usuario seleccionar combinaciones de colores, familias tipográficas o tamaños de texto, entre otros.

Es tan importante la tecnología con la que se genera el contenido, como las políticas, criterios y buenas prácticas seguidas en su creación

El resultado de las evaluaciones advierte que es tan importante la tecnología con la que se genera el contenido, como las políticas, criterios y buenas prácticas seguidas en su creación. Si cualquiera de los dos componentes falla, el contenido no será accesible. Las posibilidades que acabamos de comentar, aunque factibles, no se han observado en los gráficos dinámicos analizados, pareciendo centrarse más los medios analizados en la dimensión estética de este tipo de gráficos, que en su usabilidad y accesibilidad. Esto se pone de manifiesto en la prácticamente nula inclusión de alternativas de texto para las marcas de los gráficos a través de atributos *WAI-ARIA*, o en la incapacidad de las marcas para recibir el foco del teclado –en muchos incluso también del ratón o a través de interacciones táctiles–, por poner sólo un par de ejemplos.

Entre los resultados de esta investigación, destacan los problemas de accesibilidad no sólo para las personas con baja visión, sino para otros muchos perfiles de usuario, derivados de la ingente cantidad de publicidad intrusiva presente en una buena parte de los medios analizados. Este problema se manifiesta en forma de elementos que se superponen sobre la información principal de la página y que resultan complicados de cerrar, siendo en algunos casos imposible realizar esta acción hasta que el vídeo o animación no finaliza (figura 8). Los dos diarios internacionales analizados son los únicos que en ningún caso mostraron obstáculos publicitarios.

Otro aspecto que llama la atención es el pobre uso de pies en los gráficos analizados. Los pies de imagen se pueden usar para incluir información adicional de interés para ayudar al lector a comprender el mensaje que se intenta transmitir, ampliar la información con anotaciones adicionales, resumir cuestiones clave que interesa comunicar, además de ser el lugar idóneo en el cual proporcionar la fuente de los datos, las abreviaturas o las unidades de medida utilizadas (Splendiani, 2015). La importancia de este elemento para la comprensión del gráfico ha sido demostrada en diversos trabajos (Elzer *et al.*, 2007) (Agarwal; Yu, 2009) (Yu *et al.*, 2009) y cobran especial importancia en los documentos científicos, al incluir, en muchas ocasiones, información acerca de los resultados y conclusiones más importantes de la investigación a la que se refieren (Cohen; Wang; Murphy, 2003). Un elemento totalmente desaprovechado en los medios analizados.

5. Conclusiones y trabajo futuro

La evaluación heurística ha permitido detectar un importante número de problemas de accesibilidad, todos ellos recogidos en los resultados de este trabajo. El experimento con estos gráficos ha servido también para validar el conjunto de indicadores propuestos, así como para mejorar diferentes aspectos relacionados con ellos. El primero es la incorporación del indicador H15 (Sin obstáculos en la visualización) a la lista a petición de los evaluadores al detectar la existencia de banners publicitarios o marcas de agua que impedían percibir correctamente la información mostrada en los gráficos analizados. Otro aspecto que se revisó es la definición de cada indicador, a la cual se añadió una lista de verificación relacionada para facilitar a los evaluadores la comprensión de cada uno. Tanto las nuevas definiciones, como la lista de verificación ya se contemplan en la tabla 3 de este trabajo. En la misma línea, los evaluadores recomendaron también incluir ejemplos de buenas y malas prácticas, así como ejemplos concretos de puntuación para facilitar aún más el proceso. Finalmente, queda pendiente también como trabajo futuro la revisión del indicador H17 (Navegación independiente del dispositivo), un indicador sólo aplicable a los gráficos en formatos diferentes a las imágenes ráster y que ninguno de los gráficos analizados cumplía.

Las heurísticas son una técnica de evaluación en la que no se necesitan usuarios para obtener resultados y tienen un gran reconocimiento en usabilidad, como demuestran los numerosos ejemplos existentes en la bibliografía científica. Este tipo de evaluaciones ayudan a descubrir aquellos aspectos de una interfaz que presentan problemas de usabilidad o accesibilidad de una manera efectiva, ágil y con un coste mínimo, en comparación de otras técnicas de evaluación, proporcionando además información sobre su solución (Paddison; Englefield, 2004). En este sentido, para que la lista de heurísticas sea realmente útil, se hace totalmente necesario un proceso de validación riguroso y sistemático como el que se ha seguido en este trabajo. No obstante, para la validación total del instrumento consideramos necesario seguir una metodología de diseño centrado en el usuario incorporando en una futura fase una muestra de usuarios representativa de los diferentes perfiles de baja visión, con el objetivo de verificar que los indicadores propuestos cubren todos los problemas asociados al dominio y acercarlos al usuario final.

Los resultados constatan la falta de conocimiento y aplicación de buenas prácticas de accesibilidad en la creación de gráficos estadísticos en la prensa digital

En este trabajo se ha constatado la falta de conocimiento y aplicación de buenas prácticas de accesibilidad en la creación de gráficos estadísticos en la prensa digital. Como aportación principal se ha validado una lista de indicadores heurísticos y el método asociado que complementa y concreta directrices más generales como las WCAG para los usuarios con baja visión o VCD, pensada no sólo para la evaluación de la accesibilidad los gráficos estadísticos, sino también como embrión de una futura guía de estilo o ejemplos con los paquetes informáticos más comunes que ayude a los autores, con independencia de sus conocimientos sobre accesibilidad digital, a crear gráficos estadísticos accesibles siguiendo unas pautas que faciliten su incorporación a la Web.

6. Notas

1. Según datos de octubre de 2019.

<https://www.alexacom/topsites/category/Top/News>

2. <https://accessgarage.wordpress.com>

3. <https://webaim.org/resources/contrastchecker>

4. <https://mediaarea.net/es/MediaInfo>

5. <https://www.nvaccess.org/download>

6. El diseño web responsivo (*responsive web design*) es una técnica de diseño y desarrollo de sitios web que permite adaptar sus contenidos a las características y diferentes tamaños de pantalla de los diversos tipos de dispositivos desde los cuales se puede realizar la consulta (ordenadores de escritorio con diferentes tamaños de pantalla, tabletas, móviles, televisiones inteligentes, etc.)

7. Referencias

Agarwal, Shashank; Yu, Hong (2009). "FigSum: automatically generating structured text summaries for figures in biomedical literature". In: *Proceedings of the 2009 Annual Symposium of the American Medical Information Association (AMIA)*, pp. 6-10.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2815407>

Alcaraz-Martínez, Rubén; Ribera-Turró, Mireia; Granollers Saltiveri, Toni (2020). "La accesibilidad de los gráficos estadísticos para personas con baja visión y visión cromática deficiente: revisión de alcance y perspectivas". *Interacción: revista digital de AIPO*, n. 1.

<http://revista.aipo.es/index.php/INTERACCION/article/view/9>

Asociación para la Investigación de Medios de Comunicación (2019). *Ranking de diarios, segunda ola 2019*.

<http://reporting.aimc.es/index.html#/main/diarios>

Bernard, Michael; Liao, Chia-Hui; Mills, Melissa (2001). "The effects of font type and size on the legibility and reading time of online text by older adults". In: *CHI EA'01: extended abstracts on human factors in computing systems*, pp. 175-176.

<https://doi.org/10.1145/634067.634173>

Bonastre, Laia; Granollers, Toni (2014). "A set of heuristics for user experience evaluation in e-commerce websites". In: *ACHI 2014: the Seventh International Conference on Advances in Computer-Human Interactions*, pp. 27-34. ISBN: 978 1 612083254

Boudreau, Denis (2019). "Supporting the design phase with accessibility heuristics evaluations". *Accessible user experience & design*.

<https://www.deque.com/blog/supporting-the-design-phase-with-accessibility-heuristics-evaluations>

Bourne, Rupert R. A. (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*, v. 5, pp. 888-897.

[https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(17\)30293-0](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(17)30293-0)

Cabañero-Resta, Ángel-Andrés; Luján-Mora, Sergio (2012). *Estudio sobre la accesibilidad de los sitios web de medios de comunicación*. Alicante: Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos de la Universidad de Alicante.

<http://hdl.handle.net/10045/20343>

Cairo, Alberto (2017). "Visualización de datos: una imagen puede valer más que mil números, pero no siempre más que mil palabras". *El profesional de la información*, v. 26, n. 6, pp. 1025-1028.

<https://doi.org/10.3145/epi.2017.nov.02>

Cohen, William W.; Wang, Richard; Murphy, Robert F. (2003). "Understanding captions in biomedical publications". In: *Proceedings of the ninth ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, pp. 499-504.

<https://doi.org/10.1145/956750.956809>

- Discapnet (2007). *Accesibilidad en los diarios digitales españoles*. Madrid: Discapnet.
<https://www.discalpnet.es/sites/default/files/areas-tematicas/tecnologia/informedetalladoaccprensa.pdf>
- Discapnet (2016). *Accesibilidad de los principales medios digitales de comunicación*. Madrid: Discapnet.
<https://www.discalpnet.es/areas-tematicas/tecnologiainclusiva/observatorio-de-accesibilidad-tic/informes-discalpnet-0>
- Elzer, Stephanie; Carberry, Sandra, Chester, Daniel; Demir, Seniz; Green, Nancy; Zukerman, Ingrid; Trnka, Keith** (2007). "Exploring and exploiting the limited utility of captions in recognizing intention in information graphics". In: *Proceedings of the 43rd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL'05)*, pp. 223-230.
<https://doi.org/10.3115/1219840.1219868>
- España (2014). "Real decreto 126/2014, de 28 de febrero, por el que se establece el currículo básico de la Educación Primaria". *Boletín oficial del Estado*, n. 52 (1 de marzo).
<https://www.boe.es/eli/es/rd/2014/02/28/126/con>
- España (2015). "Real decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato". *Boletín oficial del Estado*, n. 3 (3 de enero).
<https://www.boe.es/eli/es/rd/2014/12/26/1105/con>
- Evergreen, Stephanie; Emery, Ann** (2018) "Data visualization checklist". In: *Presenting data effectively*. Thousand Oaks, California: SAGE. ISBN: 978 1 506353128
- Ferraz, Reinaldo** (2017). "Accessibility and search engine optimization on scalable vector graphics". In: *4th IEEE International Conference on Soft Computing and Machine Intelligence*, pp. 94-98.
<https://doi.org/10.1109/ISCMI.2017.8279605>
- Franklin, Fernanda; Breyer, Felipe; Kelner, Judith** (2014). "Heurísticas de usabilidade para sistemas colaborativos remotos de realidade aumentada". In: *Proceedings of XVI Symposium on Virtual and Augmented Reality*, pp. 53-62.
- González, María-Paula; Pascual, Afra; Lorés, Jesús** (2001). "Evaluación heurística". En: *Introducción a la Interacción Persona-Ordenador*. AIPO, Asociación Interacción Persona-Ordenador.
<https://aipo.es/libro/pdf/15-Evaluacion-Heuristica.pdf>
- González-Perea, Lourdes** (2018). "La accesibilidad de los medios de comunicación digitales en España: responsabilidad de los periodistas en la generación de contenidos inclusivos". *Index.comunicación*, v. 8, n. 1, pp. 225-253.
<http://hdl.handle.net/10115/15759>
- Gutiérrez-Restrepo, Mary-Luz-Emmanuelle** (2017). *Accesibilidad no intrusiva en la comunicación audiovisual en la web*. Tesis de doctorado, Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias de la Información.
<https://eprints.ucm.es/42257>
- Hermawati, Setia; Lawson, Glyn** (2015). "A user-centric methodology to establish usability heuristics for specific domains". In: *Proceedings of the International Conference on Ergonomics & Human Factors*, pp. 80-85.
<https://doi.org/10.1201/b18293>
- Hermawati, Setia; Lawson, Glyn** (2016). "Establishing usability heuristics for heuristics evaluation in a specific domain: is there a consensus?". *Applied ergonomics*, v. 56, pp. 34-51.
<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.11.016>
- Hub, Miloslav; Čapková, Věra** (2010). "Heuristic evaluation of usability of public administration portal". In: *Proceedings of the International Conference on Applied Computer Science*, pp. 234-239.
- IBSA (2011) "IBSA medical classification". In: *International Blind Sports Federation*.
<https://web.archive.org/web/20110811060928/http://www.ibsa.es/docinteres/HTM/MedicalClassification.htm>
- Inostroza, Rodolfo; Rusu, Cristian; Roncagliolo, Silvana; Rusu, Virginica** (2013). "Usability heuristics for touchscreen-based mobile devices: update". In: *Proceedings of the 2013 Chilean Conference on Human-Computer Interaction*, pp. 24-29.
<https://doi.org/10.1145/2535597.2535602>
- Jiménez, Cristhy; Allende-Cid, Hector; Figueroa, Ismael** (2017). "Prometheus: PROcedural METHodology for developing HEuristics of Usability". *IEEE Latin America transactions*, v. 15, n. 3, pp. 541-549.
<https://doi.org/10.1109/TLA.2017.7867606>
- Joyce, Ger; Lilley, Mariana** (2014). "Towards the development of usability heuristics for native smartphone mobile applications". In: *Third International Conference, DUXU 2014 Held as Part of HCI International 2014. Design, user experience, and usability theories, methods, and tools for designing the user experience*, pp. 465-474.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-07668-3_45
- Koivunen, Marja-Riitta; McMathieNevile, Charles** (2001). *Accessible graphics and multimedia on the Web*. World Wide Web Consortium (W3C)/MIT.
<https://www.w3.org/2001/05/hfweb/heuristics.htm>

- Lechner, Bettina; Fruhling, Ann; Petter, Stacie; Siy, Harvey** (2013). "The chicken and the pig: user involvement in developing usability heuristics". In: *19th Americas Conference on Information Systems, AMCIS 2013 - Hyperconnected World: Anything, Anywhere, Anytime*, pp. 3263-3270. ISBN: 978 1 629933948
- Legge, Gordon E.** (2016). "Reading digital with low vision". *Visible language*, v. 50, n. 2, pp. 102-125.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5726769>
- Mankoff, Jennifer; Dey, Anind K.; Hsieh, Gary; Kientz, Julie; Lederer, Scott; Ames, Morgan** (2003). "Heuristic evaluation of ambient displays". In: *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems*, pp. 169-176.
<https://doi.org/10.1145/642611.642642>
- Masip, Llúcia; Oliva, Marta; Granollers, Toni** (2012). "The open repository of heuristics". In: *Proceedings of the 13th International Conference on Human-Computer Interaction*, pp. 1-2.
<http://doi.acm.org/10.1145/2379636.2379640>
- Meeks, Elijah; Cesal, Amy; Pettit, Mollie** (2019). "Introducing the Data Visualization Society". *Medium*.
<https://medium.com/datavisualization-society/introducing-the-data-visualization-society-d13d42ab0bec>
- Mi, Na; Cavuoto, Lora A.; Benson, Kenneth; Smith-Jackson, Tonya; Nussbaum, Maury A.** (2014). "Heuristic checklist for an accessible smartphone interface design". *Universal access in information society*, v. 13, n. 4, pp. 351-365.
<https://doi.org/10.1007/s10209-013-0321-4>
- Miqueli-Rodríguez, Maritza; López-Hernández, Silvia M.; Rodríguez-Masó, Susana** (2016). "Baja visión y envejecimiento de la población". *Revista cubana de oftalmología*, v. 29, n. 3.
<http://ref.scielo.org/7sm8wq>
- Naciones Unidas. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. División de Población (2017). *World population prospects 2017 data booklet*.
https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2017_DataBooklet.pdf
- Nielsen, Jakob** (1992). "Finding usability problems through heuristic evaluation". In: *Proceedings ACM CHI'92 Conference*, pp. 373-380.
<https://doi.org/10.1145/142750.142834>
- Nielsen, Jakob** (1994). "How to conduct a heuristic evaluation". *Nielsen Norman Group*.
<https://www.nngroup.com/articles/how-to-conduct-a-heuristic-evaluation>
- Nielsen, Jakob** (2002). "Let users control font size". *Nielsen Norman Group. Blog*.
<https://www.nngroup.com/articles/let-users-control-font-size>
- Nielsen, Jakob** (2012). "Serif vs. sans-serif fonts for HD screens". *Nielsen Norman Group. Blog*.
<https://www.nngroup.com/articles/serif-vs-sans-serif-fonts-hd-screens>
- Nielsen, Jakob; Landauer, Thomas K.** (1993). "A mathematical model of the finding of usability problems". In: *Proceedings ACM/IFIP INTERCHI'93 Conference*, pp. 206-213.
<https://doi.org/10.1145/169059.169166>
- Nielsen, Jakob; Molich, Rolf** (1990). "Heuristic evaluation of user interfaces". In: *CHI '90: proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 249-256.
<https://doi.org/10.1145/97243.97281>
- Paddison Claire; Englefield Paul** (2004). "Applying heuristics to accessibility inspections". *Interacting with computers*, v. 16, n. 3, pp. 507-521.
<https://doi.org/10.1016/j.intcom.2004.04.007>
- Parra-Valcarce, David** (2010). "La accesibilidad web en los cibermedios del Grupo Planeta a ambos lados del Atlántico: los casos de La Razón y El Tiempo". *Naveg@mérica: revista electrónica de la Asociación Española de Americanistas*, n. 4, pp. 1-13.
<https://revistas.um.es/navegamerica/article/view/99961>
- Parra-Valcarce, David; Martínez-Arias, Santiago** (2018). *Tecnologías de la gestión periodística de la información digital: conceptos básicos*. Madrid: Los Autores. ISBN: 978 84 09039821
- Quiñones, Daniela; Rusu, Cristian; Rusu, Virginica** (2018). "A methodology to develop usability/user experience heuristics". *Computer standards & interfaces*, v. 59, n. C, pp. 109-129.
<https://doi.org/10.1016/j.csi.2018.03.002>
- Roa-Amaya, Matilde; Caldera-Serrano, Jorge** (2011). "Evaluación heurística de las sedes web de los medios digitales: El País y El Mundo". *Cuadernos de documentación multimedia*, v. 22, pp. 28-150.
https://doi.org/10.5209/rev_CDMU.2011.v22.38340

Rusu, Cristian; Roncagliolo, Silvana; Rusu, Virginica; Collazos, César A. (2011). "A methodology to establish usability heuristics". In: *Proceedings of the Fourth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions, ACHI2011*, pp. 59-62. ISBN: 9781612081175

Snellen, Herman (1862). *Probekbuchstaben zur Bestimmung der Sehschärfe*, Utrecht: Van de Weijer.

Splendiani, Bruno (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>

Szpiro, Sarit-Felicia-Anais; Hashash, Shafeka; Zhao, Yuhang; Azenkot, Shiri (2016). "How people with low vision access computing devices: understanding challenges and opportunities". In: *ASSETS '16 Proceedings of the 18th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, pp. 171-180. <https://dl.acm.org/doi/10.1145/2982142.2982168>

Utray-Delgado, Francisco (2009). *Accesibilidad a la TDT en España para personas con discapacidad sensorial (2005-2007)*. Madrid: Real Patronato sobre Discapacidad. <http://riberdis.cedd.net/handle/11181/2873>

Van-Greunen, Darelle; Yeratziotis, Alexandros; Pottas, Dalenca (2011). "A three-phase process to develop heuristics". In: *Proceedings of the 13th Annual Conference on World Wide Web Applications*, Johannesburg, pp. 5-23.

WebAIM (2013). *Survey of users with low vision results*. <https://webaim.org/projects/lowvisionsurvey>

Wetzlinger, Werner; Auinger, Andreas; Dörflinger, Michael (2014). "Comparing effectiveness, efficiency, ease of use, usability and user experience when using tablets and laptops". In: *Third International Conference, DUXU 2014 Held as Part of HCI International 2014. Design, user experience, and usability theories, methods, and tools for designing the user experience*, pp. 402-412. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07668-3_39

World Wide Web Consortium (2017). *Accessible rich internet applications (WAI-ARIA) 1.1*. <https://www.w3.org/TR/wai-aria>

World Wide Web Consortium (2018a). *Web content accessibility guidelines (WCAG) 2.1*. W3C. <https://www.w3.org/TR/WCAG21>

World Wide Web Consortium (2018b). *WAI-ARIA graphics module*. <https://www.w3.org/TR/graphics-aria-1.0>

World Health Organization (2019). "Ceguera y discapacidad visual". En: *Notas descriptivas*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>

Yu, Hong; Agarwal, Shashank; Johnston, Mark; Cohen, Aaron (2009). "Are figure legends sufficient? evaluating the contribution of associated text to biomedical figure comprehension". *Journal of biomedical discovery and collaboration*, v. 4, n. 1. <https://doi.org/10.1186/1747-5333-4-1>

Anexo 1. Heurísticas de control

Criterio de conformidad	Nivel de conformidad
1.1.1. Non-text content	A
1.3.3. Sensory characteristics	A
1.4.1. Use of color	A
1.4.3. Contrast (minimum)	A
1.4.4. Resize text	AA
1.4.5. Images of text	AA
1.4.11. Non-text contrast	AA
1.4.12. Text spacing	AA
2.1.1. Keyboard	A
2.1.2. No keyboard trap	A
2.4.3. Focus order	A
2.4.6. Headings and labels	AA
2.4.7. Focus visible	AA
2.5.1. Pointer gestures	A

Anexo 2. URLs de los gráficos analizados

ID	URL
1	https://elpais.com/elpais/2019/09/27/ciencia/1569574792_048614.html
2	https://elpais.com/tecnologia/2019/09/26/actualidad/1569509603_511250.html
3	https://elpais.com/sociedad/2019/09/25/actualidad/1569402395_914747.html
4	https://elpais.com/politica/2019/09/13/actualidad/1568392009_467154.html
5	https://elpais.com/tecnologia/2019/09/24/actualidad/1569332904_298329.html
6	https://www.elmundo.es/economia/2019/10/04/5d963e4421efa0a16a8b4604.html
7	https://www.elmundo.es/pais-vasco/2019/09/30/5d91c052fc6c83db238b4672.html
8	https://www.elmundo.es/ciencia-y-salud/ciencia/2019/09/25/5d8a4183fdddf25b18b46d0.html
9	https://www.elmundo.es/television/2019/09/18/5d8271a3fdddfb2798b45ae.html
10	https://www.elmundo.es/economia/macroeconomia/2019/10/02/5d944bc7fc6c83c26d8b4630.html
11	https://www.lavanguardia.com/internacional/20191005/47804274949/elecciones-portugal-antonio-costa-sondeos.html
12	https://www.lavanguardia.com/economia/20191004/47793185853/aranceles-eeuu-espana-impacto-productos-millones.html
13	https://www.lavanguardia.com/servicios/bolsa/index.html
14	https://www.lavanguardia.com/tecnologia/20190530/462567641011/napster-20-aniversario-musica-gratis.html
15	https://www.lavanguardia.com/natural/cambio-climatico/20191010/47886089658/mediterraneo-crisis-climatica-mosquitos-agua.html
16	https://www.abc.es/economia/abci-empleo-crece-menor-ritmo-desde-2014-y-confirma-desaceleracion-201910020859_noticia.html
17	https://www.abc.es/economia/abci-gobierno-prepara-subida-2-por-ciento-sueldo-empleados-publicos-201910082059_noticia.html
18	https://www.abc.es/espana/madrid/abci-ayuntamiento-madrid-reordenara-trafico-plaza-eliptica-para-reducir-contaminacion-201910082002_noticia.html
19	https://www.abc.es/sociedad/abci-espanoles-aceptan-mejor-eutanasia-aborto-201910091110_noticia.html
20	https://www.abc.es/economia/abci-comprueba-si-vives-encima-o-debajo-renta-media-localidad-201910021046_noticia.html
21	https://www.elperiodico.com/es/politica/20191006/encuesta-sentencia-proces-7668336
22	https://www.elperiodico.com/es/politica/20191005/sondeo-espana-gobierno-investigacion-7667832
23	https://www.elperiodico.com/es/politica/20191007/encuestas-elecciones-generales-2019-sondeos-7648130
24	https://www.elperiodico.com/es/politica/20191005/encuesta-elecciones-generales-2019-espana-7668120
25	https://www.elperiodico.com/es/politica/20191010/encuesta-autonomicas-comunidad-valenciana-7675510
26	https://www.nytimes.com/2019/10/02/business/economy/markets-world-trade.html
27	https://www.nytimes.com/2019/09/30/upshot/democrats-2020-losing-independents.html
28	https://www.nytimes.com/2019/10/03/health/sutter-hospitals-medical-bills.html
29	https://www.nytimes.com/2019/10/09/us/politics/elizabeth-warren-fundraising.html
30	https://www.nytimes.com/2019/10/04/business/economy/jobs-report.html
31	https://www.theguardian.com/politics/2019/oct/08/no-deal-brexit-would-push-national-debt-to-levels-last-seen-in-60s
32	https://www.theguardian.com/environment/2019/oct/09/revealed-20-firms-third-carbon-emissions
33	https://www.theguardian.com/environment/ng-interactive/2019/oct/09/half-century-dither-denial-climate-crisis-timeline
34	https://www.theguardian.com/business/2019/oct/10/uk-looks-likely-to-avoid-recession-despite-brexit-chaos
35	https://www.theguardian.com/environment/2019/oct/10/oil-firms-barrels-markets

Profesional de la
información

<http://www.elprofesionaldelainformacion.com>

Bienvenido a EPI
Revista científica internacional

e-ISSN: 1699-2407
<https://doi.org/10.3145/EPI>

Revista internacional de
Información y Comunicación
indexada por WoS Social Sciences Citation Index (Q2),
Scopus (Q1) y otras bases de datos

Factor de impacto JCR:
JIF 2019=1,580

Scopus/SCImago Journal Rank:
SJR 2019=0,480

An evaluation of accessibility of Covid-19 statistical charts of governments and health organisations for people with low vision

Rubén Alcaraz-Martínez; Mireia Ribera-Turró

How to cite this article:

Alcaraz-Martínez, Rubén; Ribera-Turró, Mireia (2020). "An evaluation of accessibility of Covid-19 statistical charts of governments and health organisations for people with low vision". *Profesional de la información*, v. 29, n. 5, e290514.

<https://doi.org/10.3145/epi.2020.sep.14>

Manuscript received on April 28th 2020
Accepted on June 11th 2020



Rubén Alcaraz-Martínez ✉
<https://orcid.org/0000-0002-7185-0227>

Universitat de Barcelona
Departament de Biblioteconomia,
Documentació i Comunicació Audiovisual
Melcior de Palau, 140
08014 Barcelona, Spain
ralcaraz@ub.edu



Mireia Ribera-Turró
<https://orcid.org/0000-0003-1455-1869>

Universitat de Barcelona
Departament de Matemàtiques i
Informàtica
Gran Via de les Corts Catalanes, 585
08007 Barcelona, Spain
ribera@ub.edu

Abstract

During the Covid-19 pandemic, people rely on the Internet in order to obtain information that can help them understand the coronavirus crisis. This situation has exposed the need to ensure that everyone has access to essential information on equal terms. During this situation, statistical charts have been used to display data related to the pandemic, and have had an important role in conveying, clarifying and simplifying information provided by governments and health organisations. Scientific literature and the guidelines published by organizations have focused on proposing solutions to make charts accessible for blind people or people with very little visual rest. However, the same efforts are not made towards people with low vision, despite their higher prevalence in the population of users with visual impairment. This paper reviews the accessibility of the statistical charts about the Covid-19 crisis for people with low vision that were published by the Brazilian, British, Russian, Spanish, European Union, and the United States' governments and also by the *World Health Organization* and *Johns Hopkins University*, relating to the countries most severely affected by the pandemic. The review is based on specific heuristic indicators, with a mixed quantitative and qualitative approach. Overall, the reviewed charts offer a reasonable level of accessibility, although there are some relevant problems affecting many of the low vision profiles that remain to be solved. The main problems identified are: poor text alternatives in both, raster images and SVG charts; the incompatibility with a keyboard interface; insufficient non-text contrast against adjacent colours (in chart elements such as bars, lines or areas), no customization options; and the lack of an optimized print version for users for whom reading on screen is challenging.

Keywords

Covid-19; SARS-CoV-2; 2019-nCoV; Coronavirus; Pandemics; Statistical charts; Information visualization; Low vision; Colour vision deficiency; Colour blindness; Web accessibility; Health information; Heuristic evaluation.

Funding

This research has been done in the framework of the *PhD Programme in Engineering and Information Technology* of the *Universitat de Lleida (UdL)* and has been partially supported by the Spanish project PID2019-105093GB-I00 (*Mineco/Feder, UE*); *Cerca Programme/Generalitat de Catalunya*; and by *Mineco Grant RTI2018-095232-B-C21* and SGR 1742.

1. Introduction

The Internet has become the main source of information on a wide range of topics, including health. It has acquired an even greater role for citizens in countries where confinement is enforced to prevent the spread of Covid-19; regrettably, the spread of the pandemic has also generalized the dissemination of false information about the virus that can affect health (Salaverría *et al.*, 2020) and can exacerbate the amount of contagion (Pérez-Dasilva *et al.*, 2020); as a consequence, official institutions had an important role to play in communicating reliable data. It is known that adequate dissemination of information about Covid-19 through the Internet can help decrease the spread of the pandemic, and the associated anxiety among the population (Cugelman; Thelwall; Dawes, 2011) and it helps the population better understand the crisis. It is therefore crucial to ensure that everyone has access to rigorous and reliable information on equal terms.

A recent report by Nielsen *et al.* (2020) shows an increase in news consumption in 2020 March compared to previous reports on the same topic (Newman *et al.*, 2019). Among the people reading news, people with disabilities are also avid consumers of Internet news. In particular, 'low vision users' refers to people with any visual impairment other than blindness. There are multiple categories of low vision, e.g., the ones defined by governments and organisations such as *International Blind Sports Federation (IBSA)*, and the ones based on different levels of visual acuity (clarity or sharpness of vision) and field of vision (the area in which objects can be perceived with peripheral vision when the eyes are focused on a central point) (*National Library of Medicine*, 2020). Low vision can also manifest itself in problems related to low sensitivity to light or to contrast as well as related to the so-called colour-blindness or colour vision deficiency (CVD), responsible for the inability to differentiate certain colour combinations. Low vision is the visual impairment with the highest prevalence in the world, affecting 246 million people (*World Health Organization*, 2012), and this prevalence is higher among the elderly, those most vulnerable to the Covid-19 pandemics. This is a large number of people, much higher than the number of blind people (39 million) and worth taking into account.

In Nielsen's report, the analysis of sources of information chosen by the audience from all surveyed countries reveal multiple information providers, with a significant presence of national governments (41%), national health organisations (35,3%) and global health organisations (29,5%), above other sources of information such as peers, politicians, and only surpassed by news organisations (64,16%). In every country covered by the survey, except for Spain and the United States, a majority of people rate their national government as relatively trustworthy. Additionally, in all the surveyed countries, people rate health authorities and expert sources as highly trusted.

There are well known rules on how to make information accessible for low-vision users. For example, the most referred guidelines related to digital accessibility, *WCAG 2.1* (Kirkpatrick *et al.*, 2018a), cover different requirements related to low vision. Likewise, the *Low Vision Task Force* of the *W3C* has worked on a list of specific accessibility requirements for such user profiles (Allan; Kirkpatrick; Henry, 2019). Although neither of these two documents address statistical charts in particular, their requirements can be easily applied to this type of content. Among the organizations that focus on statistical charts accessibility, the *Diagram Center* (2015) stands out with its *Image description guidelines*. However, these guidelines focus accessibility efforts on the needs of blind or severe low vision users. Evergreen (2018) created a data visualization checklist, relying on design principles collected by Evergreen and Metzner (2013), which covers many relevant aspects to accessibility despite doing so with a business and marketing point of view, and without specifically focusing on the accessibility of statistical charts. This checklist has been tested later by Sanjines (2018).

Regarding the scientific literature published so far, it is mainly focused on the accessibility of statistical charts for blind people (Alcaraz-Martínez; Ribera-Turró; Granollers-Saltiveri, 2020a). Suggested recommendations focus on one or more of the following four approaches to achieve the accessibility of statistical charts:

- the use of textual alternatives,
- the sonification of data,
- the generation of tactile alternatives, and
- the creation of multimodal alternatives.

Regarding the use of textual alternatives, but not oriented specifically to charts, but to a broader set of image types, the work of Splendiani (2015) focuses on how to textually describe non-text content for scientific articles. Previously, the analysis of computer science journals conducted by Splendiani and Ribera-Turró (2014) had already shown a deficit in the use of text alternatives, safe colour combinations on the marks of the charts, an insufficient font size, or the use of images with a minimum resolution and dimensions. Simon *et al.* (2019) show that the most common problem with charts and figures in the proceedings published by the *Innovation and Technology in Computer Science Education (ITiCSE)* are captions that do not adequately describe the figure and the use of font sizes too small to be readable. On the other hand, authors such as Corio and Lapalme (1999); Chester and Elzer (2005); Elzer *et al.* (2008); Ferres *et al.* (2010); Greenbacker (2011); Gao; Zhou and Barner (2012); Nazemi and Murray (2013) or

Low vision is the visual impairment with the highest prevalence in the world, affecting 246 million people, and this prevalence is higher among the elderly, those most vulnerable to the Covid-19 pandemics

De (2018) suggest different methods for the automated generation of textual alternatives from the information available in a chart. For their part, authors such as Elzer *et al.* (2007) or Yu *et al.* (2009) have studied the importance of captions for the understanding of a chart as

“it often concisely summarizes a paper’s most important results” (Cohen; Wang; Murphy, 2003).

In the field of sonification, defined by Kramer (1994) as the representation of data as sound, the mapping of charts to musical tones (Cohen *et al.*, 2005) and vibrations (Evreinova *et al.*, 2008) have been explored, as it has the use of sounds to communicate trends (Alty; Rigas, 2005; Walker; Nees, 2005) or the use of volume, timbre and position, to represent quantitative and qualitative data (Franklin; Roberts, 2003) (Treviranus; Mitchell; Clark, 2018). For its part, the creation of tactile versions of charts and maps has an important tradition, and there are even specific guidelines for its design (*Braille Authority of North America*, 2012). In the literature we find different approaches for its semi-automated generation. The works of Ladner *et al.* (2005), Miele and Marston (2005), and Watanabe *et al.* (2014) are some examples. Finally, other authors opt for multimodality, combining haptic solutions with data sonification and other stimuli (Fritz; Barner, 1999; Yu; Ramloll; Brewster, 2000; Roth *et al.*, 2002; Yu; Brewster, 2003; Iglesias *et al.*, 2004; McGookin; Brewster, 2006; Doush *et al.*, 2009; Goncu; Marriott; Hurst, 2010).

To fill in the existing low-vision gap for this type of content, our research team has developed a list of heuristics to cover the needs of low vision users in relation to statistical charts, successfully tested in previous jobs (Alcaraz-Martínez *et al.*, 2020b).

This paper reviews the accessibility of the statistical charts about the Covid-19 crisis for people with low vision published by the Brazilian, Russian, Spanish, British, European Union and the United States’ governments. This one complemented by the dashboard of *Johns Hopkins University*, which has become a de facto “official” information source for the pandemic in the United States, and the *World Health Organization (WHO)*.

2. Research method

For this research a list of heuristics created in previous work (Alcaraz-Martínez; Ribera-Turró; Granollers-Saltiveri, in review) is used to evaluate the charts. In this study, the heuristic H15 (without disturbing elements) has not been applied, as the websites analysed do not contain advertising, which was the most common disturbing element. Previously, the heuristics were scored with the 7-point Likert scale, but in this study the scale has been replaced by a 5-point Likert scale to ease the evaluation process. The criteria used to weight up scores, the definition of the heuristic indicators, and the scores themselves are shown in Tables 1, 2, and 3 respectively.

Table 1. Weighting criteria

Criteria	Weight
If the chart fails the heuristic, one or more user profiles will not have a satisfactory user experience with the chart, mildly compromising its accessibility. If the chart succeeds at the heuristic the chart’s accessibility slightly improves.	x1
If the chart fails the heuristic, one or more user profiles will have serious difficulties to perceive the chart information, severely compromising its accessibility. If the chart succeeds at the heuristic the chart’s accessibility considerably improves.	x2
If the chart fails the heuristic, one or more user profiles will not be able to perceive the chart information, totally compromising its accessibility. This heuristic is key to provide access to the chart for one or more user profiles.	x3

The final score for each chart is represented as a number between 0 and 10 out of 10. It is calculated by grading each indicator between 0 and 4 except the not applicable indicators or those where failure is not a problem, according to the Likert scale. The grade is multiplied by the weight of the indicator. All the weighted indicators are summed and multiplied by 10 and the result is divided by the maximum possible score. The formula is shown below:

$$\frac{(\sum_{i=1}^n \text{assigned score}_i \times \text{weight}_i) * 10}{\sum_{i=1}^n \text{maximum score}_i \times \text{weight}_i}$$

Authors evaluated the selected charts based on the above-mentioned list of heuristics. The evaluation of each statistical chart is recorded in an ad hoc-made template¹ which automatically calculates the final score. The template includes a field for the evaluator to comment on each indicator, in each evaluated chart. Comments are of special interest since, far from seeking to give a final score, heuristic evaluations pursue, above all, the identification of the accessibility problems.

“An adequate dissemination of information about Covid-19 through the Internet can help decrease the spread of the pandemic, and the associated anxiety among the population (Cugelman; Thelwall; Dawes, 2011) and it helps the population better understand the crisis. It is therefore crucial to ensure that everyone has access to this important information on equal terms”

Table 2. Heuristic indicators

ID	Name	Heuristic	Target user profile	Weight
H1	Title	Does the chart have a brief and descriptive title that helps users identify it among others appearing on the same page, as well as navigate between them?	Any user	x1
H2	Legend	If the chart uses shapes, colour or patterns encodings is there a legend to decodify them?	Any user	x1
H3	Axes	If the chart needs axes, are they visible and have appropriate, concise and clear labels and titles?	Any user	x1
H4	Caption	Does the chart have a caption helping understand it?	Any user	x1
H5	Abbreviations	Are all the abbreviations in the chart expanded?	Any user	x1
H6	Data source	Does the chart include information about its source (institution, date and URL of dataset)?	Any user	x1
H7	Print version	Is there an optimized version for printing available?	Any user	x1
H8	Short text alternative	Does the chart provide a text alternative that briefly informs about its contents and helps users decide if they want more information?	Screen reader users	x1
H9	Long description	In case the text alternative does not adequately convey the information provided by the chart, does the chart provide a textual long description containing complete and structured information about the data?	Screen reader users	x3
H10	Safe colours	If the chart uses colours to provide information, is the colour scheme safe for the different types of colour vision deficiencies, including achromatopsia (total absence of colour vision)?	Low vision and CVD users	x3
H11	Contrast	Does the visual presentation of text and background have a contrast ratio of at least 4.5:1, and the non-text elements of the chart a contrast ratio of at least 3:1?	Low contrast sensitivity users	x3
H12	Legibility	Is the text included in the chart legible (sans-serif font, font size of at least 16px or 12pt, line spacing of at least 1.5, no abuse of capital letters, bold or italics)?	Low vision users	x2
H13	Image quality	If the chart is provided as a bitmap image, does the image have sufficient quality for a clear visualization and does it support a zoom of at least 200% without blurring or pixelation?	Low vision users	x3
H14	Resize	Can the chart be zoomed up to 200% without an assistive tool and without loss of content or functionality?	Low vision users	x2
H16	Focus visible	When an element of the chart (lines, bars, points...) receives the focus, is there a visual indication of it?	Low vision users	x1
H17	Device independent navigation	Is it possible to navigate between the marks and elements of the chart with keyboard, mouse and gestures?	Low vision and screen reader users	x3
H18	Customization	Is it possible to customize the chart (colour scheme, contrast, typography...) with assistive technologies or with a resource-specific customization system?	Low vision, low contrast sensitivity and screen reader users	x2

The selection of charts was done selecting the five countries most affected by the Covid-19, that is, with the highest number of infections and evaluating all different available charts in each source: USA (2 charts), Brazil (16 charts), Russia (6 charts), United Kingdom (7 charts) and Spain (4 charts) in descending order. Official government sources in these countries were identified, and the European Union (9 charts), as a supra governmental entity covering Spain and UK was also included. Finally, the study also covered the *World Health Organization (WHO)* (6 charts) for its relevance in global health. Priority was given to official and government entities according to the preferences of the citizens collected in the report by **Nielsen et al.** (2020), however, since *Johns Hopkins University* (4 charts) has become a de facto “official” information source in the USA and it is highly referenced in many Covid-19 sources

(as in **Cobarsí-Morales**, 2020), it has also been included. In total, the sample has 54 charts. The URLs of the analysed charts and a web gallery with screenshots of each one to guarantee their consultation over time are offered in Annex 1.

The evaluation process took place between April 13 and April 21, 2020 (Spain, Europe, *WHO*, USA and *Johns Hopkins*), and June 3 to June 5, 2020 (Brazil, Russia, and United Kingdom). Both evaluators worked independently, and a spreads-

Table 3. Scores Likert scale

Score	Level of compliance
-	Not applicable (NA)
-	Failure is not a problem (NP)
0	No compliance
1	Low compliance
2	Acceptable compliance
3	High compliance
4	Excellent compliance

heet was used to compare the individual scores and to compute standard deviation between the two evaluators. Scores with a standard deviation above 2 (in total 14 with 2.12, and 10 with 2.82 out of 918 total scores) were discussed in depth in order to ensure that both evaluators shared an understanding of the criteria and had not overlooked any aspect. Figure 1 shows a diagram of the process.

The authors of this research have expanded on the general accessibility problems found per provider to indicate their severity, with a qualitative heuristic evaluation as described in discount usability methods, by Nielsen (1995). To determine the severity of each of the problems, Nielsen suggests considering the frequency at which the problem occurs, and the impact of the problem if it occurs. This evaluation complements the above-mentioned scores and includes contextual information which provides a broader insight into the problem, which is difficult to include in a chart by chart evaluation.

Qualitative comments were also tabulated to compute their impact and frequency (see tables 4 and 5). For each detected accessibility problem, a description, a recommendation for improvement, the list of related heuristics and the impact and frequency values of each organization are provided. The same practice is carried out with the detected accessibility features.

The authors have used the criteria shown in Table 4 to rate the frequency of occurrence and the impact of the accessibility problems of each provider evaluated in the qualitative evaluation.

Table 4. Frequency rating scale

Frequency value	Criteria
0	The problem never occurs
1	The problem occurs in up to 25% of the charts
2	The problem occurs in up to 50% of the charts
3	The problem occurs in up to 75% of the charts
4	The problem occurs in 75% or more of the charts

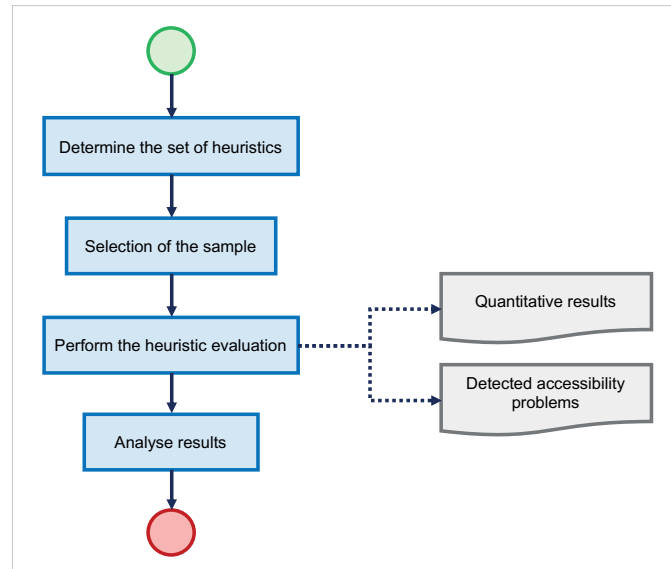


Figure 1. Diagram of the process

Table 5. Impact rating scale

Impact value	Formula	Criteria
No impact	0	The problem does not affect the use of the chart
Low impact	0.25 x heuristic indicator weight value ²	The problem affects the ease of use of the chart
Moderate impact	0.5 x heuristic indicator weight value	The problem hinders the use of the chart, making it cumbersome to interact with it.
Serious impact	0,75 x heuristic indicator weight value	The problem prevents the user to access some of the functionality / information in the chart
Critical impact	1 x heuristic indicator weight value	The problem prevents the user to access the chart

The quantitative and qualitative results are presented in the results section and can be accessed online.³

3. Results

Overall, the reviewed charts offer a reasonable level of accessibility. In particular, the contextual information related to the charts, such as titles, axes, and the associated data are sufficient in most cases.

All charts have a title, although a small percentage of the titles (3 of 25) are not informative enough. The non-informative title problem has only been detected in the charts made by the *Spanish Government* and the *World Health Organization*, and with a frequency of no more than 25% in both cases. Titles help to quickly navigate through the charts of a page or a dashboard in order to focus on the item most relevant to the user, and are particularly relevant to low-vision users, who strive to visually process each chart. However, they do not have a great impact on the final accessibility and ease of use of the analysed charts, since there are many contextual clues available on the web pages featuring the charts. Moreover, the contextual clues help diminish the negative impact of specific captions missing from all of the charts.

The information provided in the axes is clear and complete in all but one of the charts. Unfortunately, the axes labels in some of the charts have a vertical or diagonal orientation which hinders the readability, especially with magnified screens. This problem occurs in all (100% frequency) charts published by the *Centers for Disease Control and Prevention*

of the United States of America, by the *Brazilian Government* and by the *European Commission*. The overall impact of the axes labels has been considered moderate.

Regarding the incorporation of the data source, the reviewed charts are made by the same organizations that create or collect the visualized data, and therefore identifying the source is a simple task. In many cases data is also offered as an HTML table or available in XLSX or CSV formats. This allows low-vision users to analyse the specific numbers in detail with their preferred tools or to conduct searches for a datum. Also, since in this particular case the publication date is of vital importance, all of the analysed charts include it.

Yet, there are some remaining shortcomings in the charts, which may affect users belonging to several of the low vision profiles. The most important shortcomings include colour and contrast, the lack of keyboard navigation, textual alternatives or print version.

None of the interactive charts can be navigated with a keyboard and some present certain difficulties with touch gestures on mobile devices. This severely limits accessibility for low vision users who do not use the mouse as the main interaction device, but also for other groups of users who rely on keyboards when navigating web pages. For instance, all the Spanish charts are bitmaps and thus no interaction with them is possible.

People with CVD will have problems distinguishing values on charts with more than 6 colour categories, and people with achromatopsia (able to see light variations, but not hue) will have problems with almost all Covid-19 charts. For those who have lost acute perception of light and need enhanced contrast (as many elderly people do), only 4 of the 25 analysed charts are perceivable; this barrier also applies to those intending to print the chart in black and white. A low non-text contrast is a problem that occurs in up to 50% of the charts published by *Centers for Disease Control and Prevention* of the *North American Government* and those by *Johns Hopkins University*, in up to 75% of the charts published by the *Spanish Government* and by the *Russian Government*, 100% of the charts by *WHO*, by the *Brazilian Government*, by the *UK Government*, and the *European Commission*

The above-mentioned limitations related to colour schemes could be solved through customization, but no customization options were offered in any of the charts. Only those users relying in assistive technology would be able to partially solve this issue.

Those users complementing their access with a screen reader will feel unsupported by the majority of charts as there are no textual alternatives to the visual information. In fact, the evaluation results show a frequency of 100% regarding the absence of sufficiently informative and useful short textual alternatives. Only the charts from the *Spanish Government* (3 out of 4) offer a short alternative, but very unhelpful and uninformative. Interactive charts don't offer WAI-ARIA (*Accessible Rich Internet Applications*) attributes or any other textual help. The impact has been classified as low since, after all, a complex image such as a chart requires long descriptions as a complete text alternative, with short text alternatives being only a complement to the first ones (W3C, 2019). As discussed above, some charts (24 out of 54) provide a data table that could partially fulfil the purpose of a long description; this is not a complete solution for some users, as for example severe low vision users, because there is no direct link from the chart to the table and therefore the impact has been classified as high.

Concerning the print version, none of the analysed charts offered a quality print version and the default print options cut them between pages, or partially hide them. A remarkable exception is found in the *Spanish Government* charts, which offer a high-resolution version that can be printed with assurances. The lack of a quality print version is not a consequence of the authoring tools, as it is demonstrated by the complementary infographics offered by *Johns Hopkins University* for every state. Reading on screen may introduce additional difficulties for some low vision users; it is common for these users to read from a very short distance from the screen which means a very harsh position causing fatigue. However, the impact of this problem is classified as low because the absence of this alternative only affects the ease of use of the chart in certain contexts and for some user profiles, but does not prevent access to any of the profiles, not even those that have a more severe low vision.

The two organizations obtaining best results are from the United States (*Centers for Disease and Prevention* and *Johns Hopkins University*), followed by the *European Centre for Diseases Prevention and Control*, all with above-average results. The governments of the United Kingdom, Spain, Russia and Brazil, along with the *World Health Organization*, are below average. Exact values obtained by each government and organization are shown in figure 2. It is worth mentioning that the overall accessibility of the charts depends also largely on the accessibility of the web page containing them, and in this aspect the United Kingdom Government websites stand out among the rest.

Finally, the reader must take into account that although the weighted results of the heuristic evaluation are shown over 10, an average score of 5 does not imply that a chart is accessible. The great variability within low vision profiles means that, for example, not fulfilling the requirements of contrast or safe colours results in not perceivable charts for many users. For this reason, the qualitative approach needs to complement the quantitative analysis.

“ In the case of accessibility, some simple solutions that are already existing must be implemented urgently ”

Qualitative results show that the main problems are the use of images of text (critical impact); insufficiently descriptive titles (low impact); axes without titles (low impact); charts that do not have a caption (low impact); no versions optimized for printing (low impact) and print versions that are cut off (low impact); charts without short alternative texts (low impact); no long descriptions (serious impact); the use of unsafe colour palettes for people with CVD (critical impact);

the use of adjacent colours with insufficient contrast ratios (critical impact); the lack of customization options (critical impact); charts not operable to a keyboard interface (moderate impact), the use of a font size below the recommended (low impact) and the inclusion of text with a vertical or diagonal orientation (low impact).

The use of images of text only occurs in the charts of the *Spanish Government* and with a frequency of 75% or more. The use of insufficiently descriptive titles only happens in the case of the *Spanish Government*, the *WHO* and *Russian Government*, with a frequency that does not reach 25% of the cases. The axes without titles are given in the cases of the *Spanish Government* (75% or more), *European Commission* (up to 25%) and *Russia* and the *United Kingdom governments* (75% or more). The use of unsafe colour combinations for people with CVD occurs in up to 25% of cases in charts from Spain and *Johns Hopkins University*, in up to 50% of cases in the charts from the *WHO*, USA, Brazil, Russia and UK, and in up to 75% of cases in the charts of the European Union. Insufficient colour contrast ratios are given with up to 50% frequency in the case of USA, *Johns Hopkins University* and Russia, with up to 75% frequency in the case of Spain, and with a frequency of 75% or more in the cases of the *WHO*, the European Union, Brazil and the UK. The use of diagonal or vertical texts occurs in up to 75% of cases in Brazil, and in 75% or more in the USA, the European Union and the UK. Finally, the lack of captions, lack of alternative texts and long descriptions, not having print optimized versions, the use of size below the recommended, the inaccessibility through a keyboard interface and the impossibility of customization occurs in all the analysed dashboards, 75% or more of the times.

On the other hand, some positive accessibility features have also been observed, which stand out for their impact on the final accessibility of the charts: the use of SVG charts, which can be resized without losing quality; the inclusion of downloadable structured data allowing users to review it with their favourite software applications; a structured data table complementing the chart that allows detailed data consultation; the possibility to enlarge the graphics to full screen; and the use of popups that provide additional information about the values of each mark (bar, point, etc.) when they receive the focus. The full results of the qualitative analysis are available online, together with the details of the quantitative results.²

4. Discussion

While all the charts analysed here have been published by large and mainly public institutions, which are required to comply with legislation on accessibility, most of them still fail to comply with the legal requirements. One reason for this could be that those charts were created in a hurry –due to the rapid spread of the pandemic–, and therefore complying with accessibility rules was not prioritized. However, the analysed organizations and governments were already equipped with a powerful infrastructure to generate visualizations and were using them regularly, so the Covid-19 charts did not require many alterations to the existing procedures.

Another possible explanation is that the charts were created with ad hoc software or with authoring tools not committed to accessibility (Richards; Spellman; Treviranus, 2015). This explanation is not likely either, since all the organisations created dynamic visualizations with established JavaScript libraries except for Spain. Some examples of the software are *Qlik*⁴ (European Union), *Leaflet*⁵ (*WHO*), *Epi Info*⁶ (*CDC*), *plotly.js*⁷ (*Johns Hopkins University*) or *Chart.js* (Brazil and United Kingdom)⁸ and most of this software states it can create accessible charts. Accessible charts should at least include accessible colour combinations, keyboard navigation and it can easily cover customization options, however, many of these features were not implemented, thus preventing many users from benefiting from the charts' information.

Two factors seem to influence the accessibility of the analysed charts: on the one hand, technology and on the other, the chart creators' knowledge of accessibility requirements. Both need to go hand in hand to obtain charts with built-in

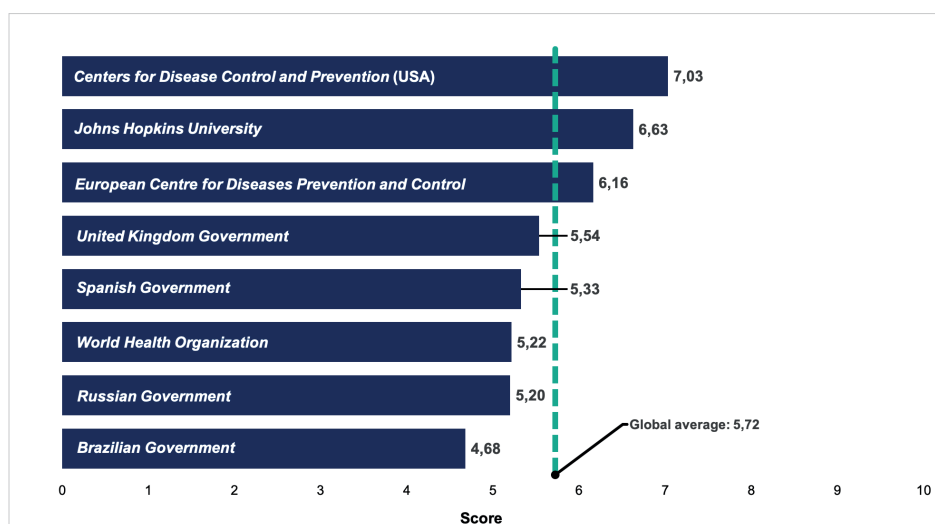


Figure 2. Average score by organism of the evaluations carried out

quality and accessibility. If these factors don't work together we may find paradoxes such as the following one: *WHO*, with a very advanced visualization infrastructure and using web and JavaScript technologies with the potential to create very versatile charts for all needs, gets a lower score, on average, than the *Spanish Government*, which uses bitmap static charts, less flexible in origin.

Some flaws identified in the heuristic evaluation, such as the absence of useful text alternatives, the non-use of safe colours and sufficient colour contrast, or the absence of captions that help the reader to better understand the charts, coincide with those detected by other authors such as **Splendiani** and **Ribera-Turró** (2014) or **Simon et al.** (2019) in their respective investigations. Others are not described in any previous research and represent a big contribution to the existing literature, this is due to that low vision users' needs have been largely overlooked in accessibility studies, as mentioned in the introduction.

In any case, this research has exposed the lack of interest in guaranteeing universal access to information from some of the most important organisations. Accessibility has not been prioritized in the design of these charts, despite significant effort was clearly made to solve other (often more challenging) problems related to Covid-19 such as privacy, where many resources have been destined to create privacy-friendly tracing apps. In the case of accessibility, some simple solutions that are already existing must be implemented urgently. These solutions include, but are not limited to, the use of textures or patterns, to solve problems caused by colours in line and bar charts; the use of darker outlines (**Campbell; Cooper; Kirkpatrick**, 2018) to discern the edges of the slices in pie charts or the bars in bar charts, a solution to achieve the required contrast level, keyboard access, which is a programmatic issue with well-known and documented solutions, and customization of the appearance of the charts, easily achieved with CSS or filters.

5. Limitations

The average values per organization shown in the results must be taken with caution as there were different number of charts available per organization, ranging from 16 in Brazil to 2 in USA. Although the selected sample is still limited and the evaluation was made only by two evaluators, the results of the heuristic evaluation gives a broad view of common practices and the most frequent accessibility problems in the visualizations created by governments and international organizations in the field of health.

6. Conclusions

The pandemic evolves every day so showing updated data is very relevant and necessary to better understand the evolution of the Covid-19 crisis. Making this information accessible is critical to ensure the rights of the citizens with disabilities and of elders, taking into account that especially elders are among the vulnerable groups.

While the focus of this work is low vision users, any improvement in digital accessibility brings benefits to everyone, particularly elderly people, users with contextual disabilities or users with situational limitations. In particular, many of the suggested heuristic indicators also benefit other user profiles such as blind people (H8 alt text, H9 long descriptions and H17 device independence), people with motor disabilities (H17 device independence), or people with learning or cognitive disabilities (H4 caption, H5 abbreviations, H7 print version, H11 contrast, H12 legibility, H16 visible focus and H18 customization).

“ We have a long way to go in digital accessibility, and it is mainly due to awareness and responsibility ”

This article has highlighted issues never included in other studies. Low vision users deserve more attention in accessibility studies. We still have a long way to go in digital accessibility, and it is mainly related to awareness and responsibility.

7. Notes

1. <http://www.ub.edu/adaptabit/covid-research/template.xlsx>
2. If several heuristic indicators are involved, the weight is computed as the average.
3. Quantitative results available at:
http://www.ub.edu/adaptabit/covid-research/heuristic_evaluation_quantitative_analysis.xlsx
- Qualitative results available at:
http://www.ub.edu/adaptabit/covid-research/heuristic_evaluation_qualitative_analysis.xlsx
4. <https://www.qlik.com>
5. <https://leafletjs.com>
6. <https://www.cdc.gov/epiinfo>
7. <https://plotly.com/javascript>
8. <https://www.chartjs.org>

8. References

- Alcaraz-Martínez, Rubén; Ribera-Turró, Mireia; Granollers-Saltiveri, Toni** (2020a). “La accesibilidad de los gráficos estadísticos para personas con baja visión y visión cromática deficiente: revisión del estado del arte y perspectivas”. *Interacción: revista digital de AIPO*, v. 1, n. 1.
<http://revista.aipo.es/index.php/INTERACCION/article/view/9>
- Alcaraz-Martínez, Rubén; Ribera-Turró, Mireia; Granollers-Saltiveri, Toni; Pascual, Afra** (2020b). “Accesibilidad para personas con baja visión de los gráficos estadísticos en la prensa digital: una propuesta metodológica basada en indicadores heurísticos”. *Profesional de la información*, v. 29, n. 5, e290515.
<https://doi.org/10.3145/epi.2020.sep.15>
- Alcaraz-Martínez, Rubén; Ribera-Turró, Mireia; Granollers-Saltiveri, Toni** (in review). “Methodology for heuristic evaluation of the accessibility of statistical charts for people with low vision and color vision deficiency” (in review).
- Allan, Jim; Kirkpatrick Andrew; Henry, Shawn-Lawton** (2019). *Accessibility requirements for people with low vision*, W3C.
<https://w3c.github.io/low-vision-a11y-tf/requirements.html>
- Alty, James L.; Rigas, Dimitrios** (2005). “Exploring the use of structured musical stimuli to communicate simple diagrams: the role of context”. *International journal of human-computer studies*, v. 62, n. 1, pp. 21-40.
<https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2004.08.003>
- Braille Authority of North America* (2012). *Guidelines and standards for tactile graphics*.
<http://brailleauthority.org/tg/web-manual>
- Campbell, Alastair; Cooper, Michael; Kirkpatrick, Andrew** (2018). “Understanding success criterion 1.4.11: non-text contrast”. In: *Understanding WCAG 2.1*. W3C.
<https://www.w3.org/WAI/WCAG21/Understanding>
- Chester, Daniel; Elzer, Stephanie** (2005). “Getting computers to see information graphics so users do not have to”. In: *Proceedings of the 15th Int’l Symposium on methodologies for intelligent systems (Ismis)*, pp. 660-668.
https://doi.org/10.1007/11425274_68
- Cobarsí-Morales, Josep** (2020). “Covid 19: fuentes de información cuantitativa”. *Anuario ThinkEPI*, v. 14, e14d02.
<https://doi.org/10.3145/thinkepi.2020.e14d02>
- Cohen, William W.; Wang, Richard; Murphy, Robert F.** (2003). “Understanding captions in biomedical publications”. In: *Proceedings of the 9th ACM SIGKDD International conference on knowledge discovery and data mining*, pp. 499-504.
<https://www.cohen.github.io/postscript/ismb-2003.pdf>
- Cohen Robert F.; Yu, Rui; Meacham, Arthur; Skaff, Joelle** (2005). “Plumb: displaying graphs to the blind using an active auditory interface”. In: *Proceedings of the 7th international ACM sigaccess conference on computers and accessibility*, pp. 182-183.
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.487.5932&rep=rep1&type=pdf>
- Corio, Marc; Lapalme, Guy** (1999). “Generation of texts for information graphics”. In: *Proceedings of the 7th European workshop on natural language generation (Ewnlg’99)*, pp. 49-58.
<http://rali.iro.umontreal.ca/rali/sites/default/files/publis/CorioEWNLG.pdf>
- Cugelman, Brian; Thelwall, Mike; Dawes, Philip L.** (2011). “Online interventions for social marketing health behavior change campaigns: a meta-analysis of psychological architectures and adherence factors”. *Journal of medical internet research*, v. 13, n. 1, e17.
<https://doi.org/10.2196/jmir.1367>
- De, Paramita** (2018). “Automatic data extraction from 2D and 3D pie chart images”. In: *Proceedings of the 8th International advance computing conference (IACC 2018)*, pp. 20-25.
<https://doi.org/10.1109/IADCC.2018.8692104>
- Diagram Center* (2015). *Image description guidelines*.
<http://diagramcenter.org/table-of-contents-2.html>
- Doush, Iyad-Abu; Pontelli, Enrico; Simon, Dominic; Son, Tran-Cao; Ma, Ou** (2009). “Making Microsoft Excel™ accessible: multimodal presentation of charts”. In: *Proceedings of the 11th international ACM Sigaccess conference on computers and accessibility*. New York, NY: ACM, pp. 147-154.
<https://doi.org/10.1145/1639642.1639669>
- Elzer, Stephanie; Carberry, Sandra; Chester, Daniel; Demir, Seniz; Green, Nancy; Zukerman, Ingrid; Trnka, Keith** (2007). “Exploring and exploiting the limited utility of captions in recognizing intention in information graphics”. In: *Proceedings of the 43rd Annual meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL’05)*, pp. 223-230.
https://www.researchgate.net/publication/220874350_Exploring_and_Exploiting_the_Limited_Utility_of_Captions_in_Recognizing_Intention_in_Information_Graphics

- Elzer, Stephanie; Schwartz, Edward; Carberry, Sandra; Chester, Daniel; Demir, Seniz; Wu, Peng** (2008). "Accessible bar charts for visually impaired users". In: *Telehealth/AT'08 Proceedings of the lasted international conference on telehealth/Assistive technologies*, pp. 55-60.
https://www.researchgate.net/publication/228577828_Accessible_Bar_Charts_for_Visually_Impaired_Users
- Evergreen, Stephanie** (2018). *Presenting data effectively: communicating your findings for maximum impact*. Thousand Oaks, California: SAGE. ISBN: 978 1 452257365
- Evergreen, Stephanie; Metzner, Chris** (2013), "Design principles for data visualization in evaluation". *New directions for evaluation*, n. 140, pp. 5-20.
<https://doi.org/10.1002/ev.20071>
- Evreinova, Tatiana G.; Evreinov, Grigori; Raisamo, Roope; Vesterinen, Leena** (2008). "Non-visual interaction with graphs assisted with directional-predictive sounds and vibrations: a comparative study". *Universal access in the information society*, v. 7, n. 1-2, pp. 93-102.
<https://doi.org/10.1007/s10209-007-0105-9>
- Ferres, Leo; Lindgaard, Gitte; Sumegi, Livia; Tsuji, Bruce** (2010). "Evaluating a tool for improving accessibility to charts and graphs". *ACM Transactions on computer-human interaction*, v. 20, n. 5.
<https://doi.org/10.1145/2533682.2533683>
- Franklin, K. M.; Roberts, Jonathan C.** (2003). "Pie chart sonification". In: *Proceedings on 7th International conference on information visualization*. Los Alamitos, CA: IEEE, pp. 4-9.
<https://doi.org/10.1109/IV.2003.1217949>
- Fritz, Jason P.; Barner, Kenneth E.** (1999). "Design of a haptic data visualization system for people with visual impairments". *IEEE transactions on rehabilitation engineering*, v. 7, n. 3, pp. 372-384.
- Gao, Jinglun; Zhou, Yin; Barner, Kenneth** (2012). *Making information graphics accessible for visually impaired individuals*.
<https://pdfs.semanticscholar.org/61cd/ae1d985cb9fa08600220eb94523b470813da.pdf>
- Goncu, Cagatay; Marriott, Kim; Hurst, John** (2010). "Usability of accessible bar charts". In: *International conference on theory and application of diagrams. Diagrammatic representation and inference*, pp. 176-181. ISBN: 978 3 642 14600 8
https://doi.org/10.1007/978-3-642-14600-8_17
- Greenbacker, Charles; Wu, Peng; Carberry, Sandra; McCoy, Kathleen F.; Elzer, Stephanie; McDonald, David; Chester, Daniel; Demir, Seniz** (2011). "Improving the accessibility of line graphs in multimodal documents". In: *Proceedings of the 2nd Workshop on speech and language processing for assistive technologies*, pp. 52-62.
https://www.researchgate.net/publication/228841891_Improving_the_Accessibility_of_Line_Graphs_in_Multimodal_Documents
- Iglesias, Rosa; Casado, Sara; Gutiérrez, Teresa; Barbero, José-Ignacio; Avizzano, Carlo-Alberto; Marcheschi, Simone; Bergamasco, Massimo** (2004). "Computer graphics access for blind people through a haptic and audio virtual environment". In: *Proceedings. Second international conference on creating, connecting and collaborating through computing*, pp. 13-18.
<https://doi.org/10.1109/HAVE.2004.1391874>
- Kirkpatrick, Andrew; O'Connor, Joshue; Campbell, Alastair; Cooper, Michael** (2018). *Web content accessibility guidelines (WCAG) 2.1. W3C*.
<https://www.w3.org/TR/WCAG21>
- Kramer, Gregory** (1994). *Auditory display: sonification, audification, and auditory interfaces*. Reading, MA: Addison-Wesley. ISBN: 978 0 201626049
- Ladner, Richard E.; Ivory, Melody Y.; Rao, Rajesh; Burgstahler, Sheryl; Comden, Dan; Hahn, Sanhgyun; Renzelmann, Matthew; Krisnani, Satria; Ramasamy, Mahalakshmi; Slabosky, Beverly; Martin, Andrew; Lacenski, Amelia; Olsen, Stuart; Groce, Dimitri** (2005). "Automating tactile graphics translation". In: *Assets '05 Proceedings of the 7th international ACM Sigaccess conference on computers and accessibility*. New York, NY: ACM, pp. 150-157.
<https://doi.org/10.1145/1090785.1090814>
- McGookin, David K.; Brewster, Stephen A.** (2006). "Soundbar: exploiting multiple views in multimodal graph browsing". In: *NordiCHI'06. Proceedings of the 4th Nordic conference on human-computer interaction*, pp. 145-154.
<https://doi.org/10.1145/1182475.1182491>
- Miele, Joshua; Marston, J.** (2005). "Tactile map automated production (TMAP): project update and research summary". In: *CSUN International technology and persons with disabilities conference*, pp. 14-19.
- National Library of Medicine** (2020). "Visual field". *Medical encyclopedia*. Bethesda, MD: U.S. National Library of Medicine.
<https://medlineplus.gov/ency/article/003879.htm>

- Nazemi, Azadeh; Murray, Iain** (2013). "A method to provide accessibility for visual components to vision impaired". *International journal of human computer interaction (IJHCI)*, v. 4, n. 1, pp. 54-69.
https://www.researchgate.net/publication/257410394_A_Method_to_Provide_Accessibility_for_Visual_Components_to_Vision_Impaired
- Newman, Nic; Fletcher, Richard; Schulz, Anne; Andi, Simge; Nielsen, Rasmus-Kleis** (2019). *Reuters Institute. Digital news report 2019*. Oxford: Reuters Institute for the Study of Journalism.
https://reutersinstitute.politics.ox.ac.uk/sites/default/files/2020-06/DNR_2020_FINAL.pdf
- Nielsen, Jakob** (1995). "Severity ratings for usability problems". *Nielsen Norman Group. Articles*.
<https://www.nngroup.com/articles/how-to-rate-the-severity-of-usability-problems>
- Nielsen, Rasmus-Kleis; Fletcher, Richard; Newman, Nic; Brennen, J. Scott; Howard, Philip N.** (2020). "Navigating the 'infodemic': how people in six countries access and rate news and information about coronavirus". *Reuters Institute*, 15 April.
<https://reutersinstitute.politics.ox.ac.uk/infodemic-how-people-six-countries-access-and-rate-news-and-information-about-coronavirus>
- Pérez-Dasilva, Jesús-Ángel; Meso-Ayerdi, Koldobika; Mendiguren-Galdospín, Terese** (2020). "Fake news y coronavirus: detección de los principales actores y tendencias a través del análisis de las conversaciones en Twitter". *El profesional de la información*, v. 29, n. 3, e290308.
<https://doi.org/10.3145/epi.2020.may.08>
- Richards, Jan; Spellman, Jeanne; Treviranus, Jutta** (2015). *Authoring tool accessibility guidelines (ATAG) 2.0*. W3C.
<https://www.w3.org/TR/ATAG20>
- Roth, Patrick; Kamel, Hesham; Petrucci, Lori; Pun, Thierry** (2002). "A comparison of three nonvisual methods for presenting scientific graphs". *Journal of visual impairment and blindness*, v. 96, n. 6, pp. 420-428.
<https://doi.org/10.1177/0145482X0209600605>
- Salaverría, Ramón; Buslón, Nataly; López-Pan, Fernando; León, Bienvenido; López-Goñi, Ignacio; Erviti, María-Carmen** (2020). "Desinformación en tiempos de pandemia: tipología de los bulos sobre la Covid-19". *El profesional de la información*, v. 29, n. 3, e290315.
<https://doi.org/10.3145/epi.2020.may.15>
- Sanjines, Sena C. P.** (2018). *Does it make a difference? Data visualizations and the use of research and evaluation reports*. PhD thesis. University of Hawai'i, Manoa.
<https://scholarspace.manoa.hawaii.edu/handle/10125/62374>
- Simon, Simple; Becker, Brett; Hamouda, Sally; McCartney, Robert; Sanders, Kate; Sheard, Judy** (2019). "Visual portrayals of data and results at ITiCSE". In: *ITiCSE'19. Proceedings of the 2019 ACM Conference on innovation and technology in computer science education*, pp. 51-57.
<https://doi.org/10.1145/3304221.3319742>
- Splendiani, Bruno** (2015). *A proposal for the inclusion of accessibility criteria in the authoring workflow of images for scientific articles*. PhD thesis, University of Barcelona.
<http://hdl.handle.net/10803/386242>
- Splendiani, Bruno; Ribera-Turró, Mireia** (2014). "Accessible images in computer science journals". *Procedia computer science*, v. 27, pp. 9-18.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.02.003>
- Treviranus, Jutta; Mitchell, Jess; Clark, Colin** (2018). "Sonification". *Floe: the inclusive learning design handbook*.
<https://handbook.floeproject.org/Sonification.html>
- Walker, Bruce N.; Nees, Michael A.** (2005). "An agenda for research and development of multimodal graphs". In: *Proceedings of ICAD 05 - 11th Meeting of the international conference on auditory display*, Limerick, Ireland.
http://sonify.psych.gatech.edu/ags2005/pdf/AGS05_WalkerNees.pdf
- Watanabe, Tetsuya; Yamaguchi, Toshimitsu; Koda, Satoko; Minatani, Kazunori** (2014). "Tactile map automated creation system using OpenStreetMap". In: *International conference on computers for handicapped persons (ICCHP 2014). Computers helping people with special needs*. London: Springer, pp. 42-49.
<https://www.springerprofessional.de/en/tactile-map-automated-creation-system-using-openstreetmap/2191610>
- W3C (2019). "Complex images". *Web accessibility tutorials: guidance on how to create websites that meet WCAG*.
<https://www.w3.org/WAI/tutorials/images/complex>
- World Health Organization (2012). *Global data on visual impairments 2010*. Geneva: World Health Organization.
<https://www.who.int/blindness/GLOBALDATAFINALforweb.pdf>
- Yu, Hong; Agarwal, Shashank; Johnston, Mark; Cohen, Aaron** (2009). "Are figure legends sufficient? Evaluating the contribution of associated text to biomedical figure comprehension". *Journal of biomedical discovery and collaboration*, v. 4, n. 1.
<https://doi.org/10.1186/1747-5333-4-1>

Yu, Wai; Brewster, Stephen (2003). "Evaluation of multimodal graphs for blind people". *Universal access in the information society*, n. 2, pp. 105-124.
<https://doi.org/10.1007/s10209-002-0042-6>

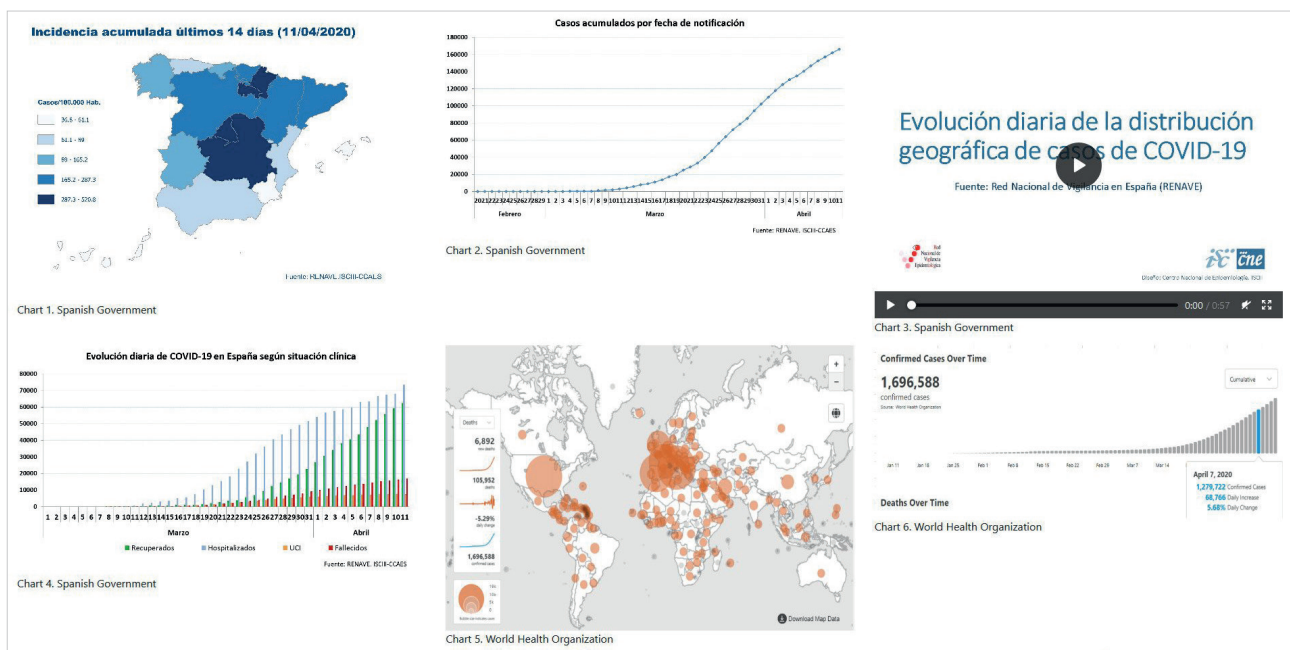
Yu, Wai; Ramlooll, Ramesh; Brewster, Stephen (2000). "Haptic graphs for blind computer users". In: *International workshop on haptic human-computer interaction*, pp. 41-51.
https://doi.org/10.1007/3-540-44589-7_5

Annex 1. URLs of the analysed charts

- Spanish Government (charts 1-4).
<https://covid19.isciii.es>
- World Health Organization (charts 5-10).
<https://who.sprinklr.com>
- US American Government. Centers for Disease Control and Prevention (charts 11-12).
<https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/cases-updates/cases-in-us.html>
- European Commission. European Centre for Diseases Prevention and Control (charts 13-21).
<https://qap.ecdc.europa.eu/public/extensions/COVID-19/COVID-19.html>
- Johns Hopkins University (charts 22-25).
<https://coronavirus.jhu.edu/map.html>
- Brazilian Government (charts 26-41).
<https://covid.saude.gov.br>
- Russian Government (charts 42-47).
<https://covid19.rosminzdrav.ru>
<https://xn--80aesfpebagmfb1c0a.xn--p1ai/information>
- British Government (charts 48-54)
<https://coronavirus.data.gov.uk>

Covid-19 charts analysed

Given the possibility that the original sources may change or be removed, we have created an alternative gallery with all the charts to grant access, available at:
<http://www.ub.edu/adaptabit/covid-research>



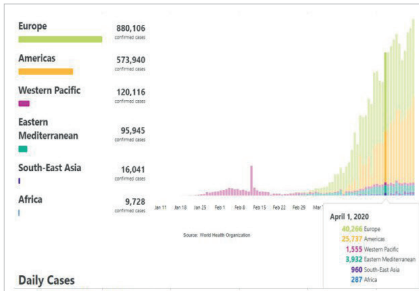


Chart 7. World Health Organization

Daily Cases
By WHO Region

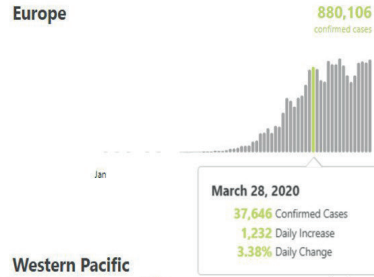


Chart 8. World Health Organization



Chart 9. World Health Organization



Chart 10. World Health Organization

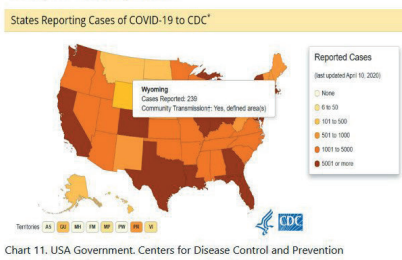


Chart 11. USA Government. Centers for Disease Control and Prevention

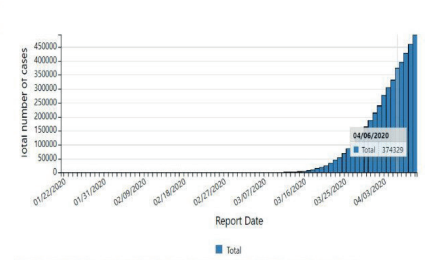


Chart 12. USA Government. Centers for Disease Control and Prevention



Chart 13. European Union. European Center for Diseases Prevention and Control



Chart 14. European Union. European Center for Diseases Prevention and Control

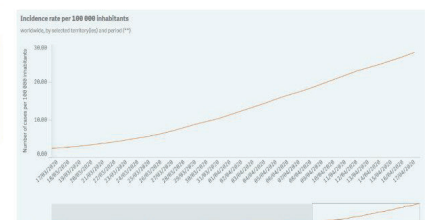


Chart 15. European Union. European Center for Diseases Prevention and Control

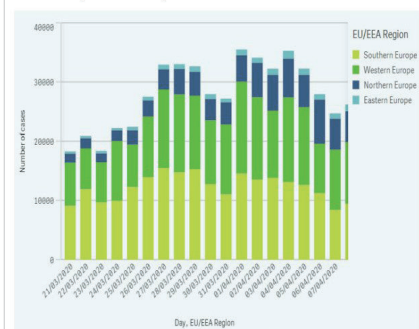


Chart 16. European Union. European Center for Diseases Prevention and Control

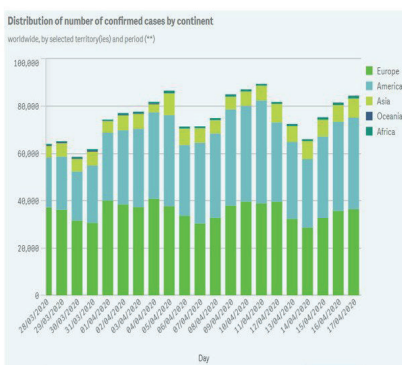


Chart 17. European Union. European Center for Diseases Prevention and Control

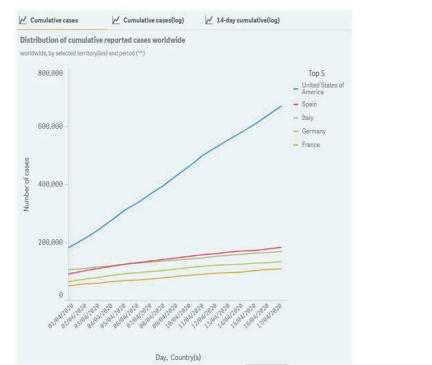


Chart 18. European Union. European Center for Diseases Prevention and Control

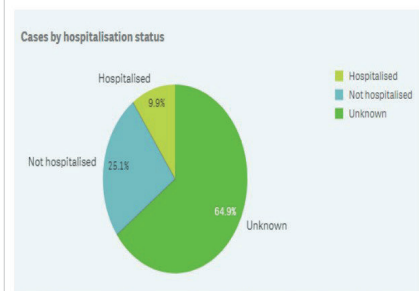


Chart 19. European Union. European Center for Diseases Prevention and Control



Chart 20. European Union. European Center for Diseases Prevention and Control



Chart 21. European Union. European Center for Diseases Prevention and Control

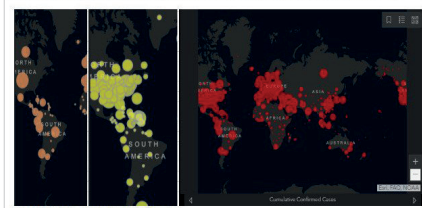


Chart 22. Johns Hopkins University



Chart 23. Johns Hopkins University

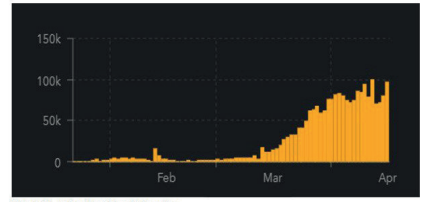


Chart 24. Johns Hopkins University

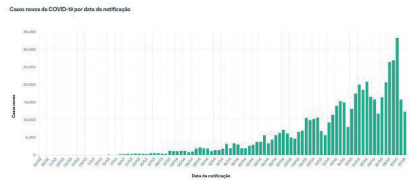
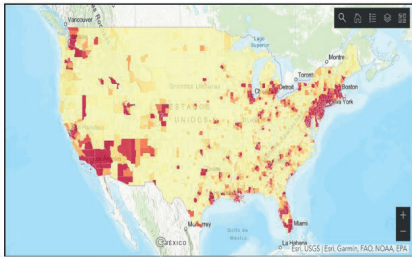


Chart 26. Brazilian Government

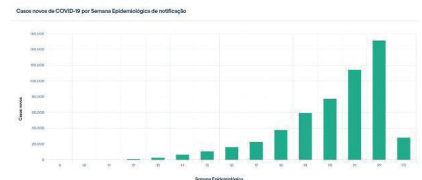


Chart 27. Brazilian Government

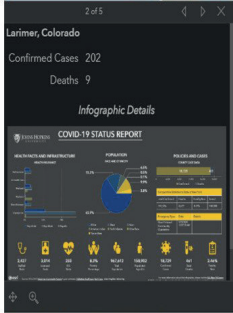


Chart 25. Johns Hopkins University

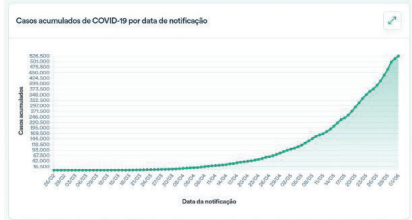


Chart 28. Brazilian Government

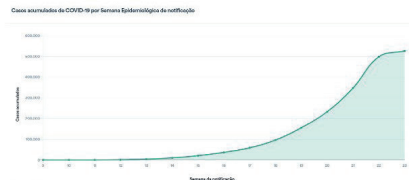


Chart 29. Brazilian Government

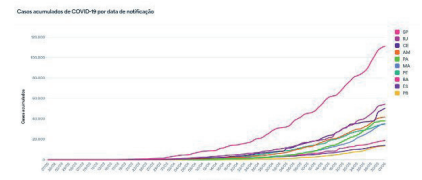


Chart 30. Brazilian Government

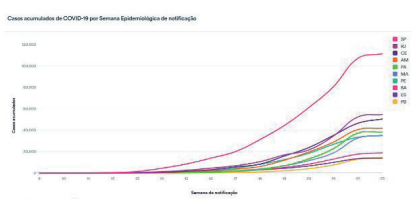


Chart 31. Brazilian Government

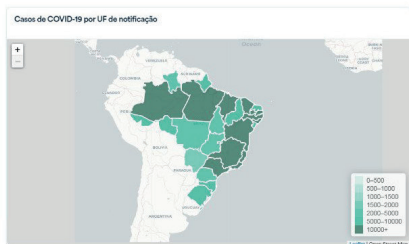


Chart 32. Brazilian Government



Chart 33. Brazilian Government

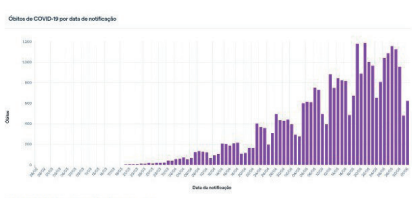


Chart 34. Brazilian Government

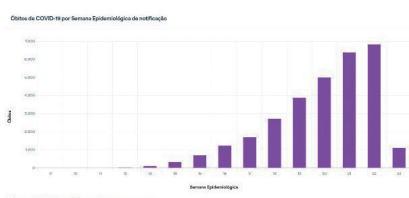


Chart 35. Brazilian Government

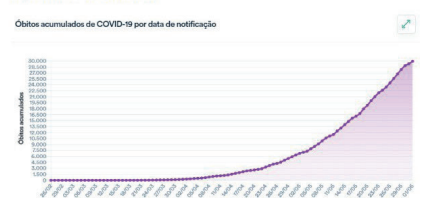
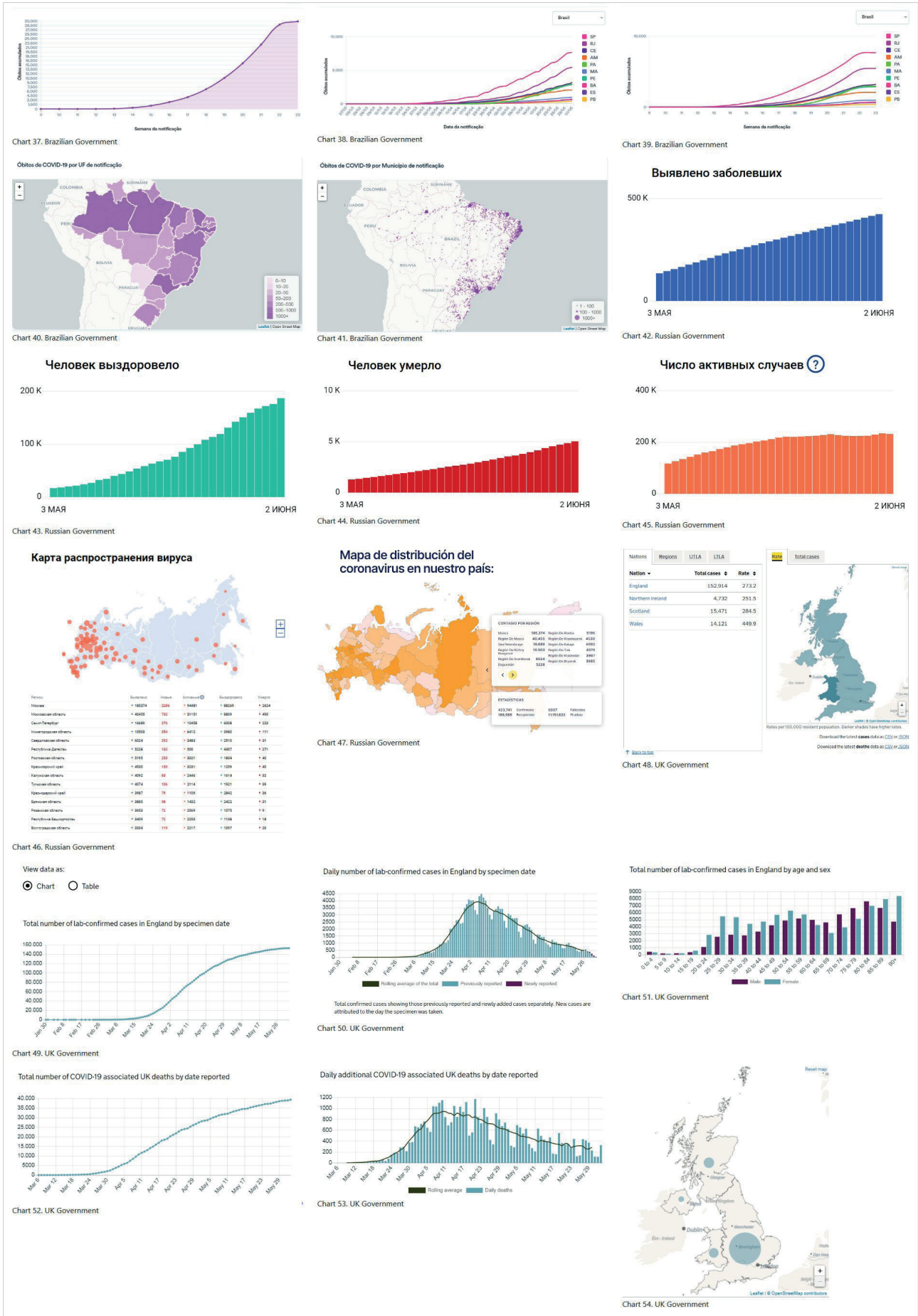


Chart 36. Brazilian Government



Accessible charts are part of the equation of accessible papers: a heuristic evaluation of the highest impact LIS journals

Evaluation of
the highest
impact LIS
journals

Rubén Alcaraz Martínez

*Departament de Biblioteconomia, Documentació i Comunicació Audiovisual,
Universitat de Barcelona, Barcelona, Spain*

Mireia Ribera and Jordi Roig Marcelino

*Departament de Matemàtiques i Informàtica, Universitat de Barcelona,
Barcelona, Spain, and*

Afra Pascual Almenara and Toni Granollers Saltiveri

*Departament d'Informàtica i Enginyeria Industrial, Universitat de Lleida,
Lleida, Spain*

Received 5 August 2020
Revised 1 February 2021
Accepted 11 March 2021

Abstract

Purpose – Statistical charts are an essential source of information in academic papers. Charts have an important role in conveying, clarifying and simplifying the research results provided by the authors, but they present some accessibility barriers for people with low vision. This article aims to evaluate the accessibility of the statistical charts published in the library and information science (LIS) journals with the greatest impact factor.

Design/methodology/approach – A list of heuristic indicators developed by the authors has been used to assess the accessibility of statistical charts for people with low vision. The heuristics have been applied to a sample of charts from 2019 issues of ten LIS journals with the highest impact factor according to the ranking of the JCR.

Findings – The current practices of image submission do not follow the basic recommended guidelines on accessibility like color contrast or the use of textual alternatives. On the other hand, some incongruities between the technical suggestions of image submission and their application in analyzed charts also emerged. The main problems identified are: poor text alternatives, insufficient contrast ratio between adjacent colors and the inexistence of customization options. Authoring tools do not help authors to fulfill these requirements.

Research limitations/implications – The sample is not very extensive; nonetheless, it is representative of common practices and the most frequent accessibility problems in this context.

Social implications – The heuristics proposed are a good starting point to generate guidelines for authors when preparing their papers for publication and to guide journal publishers in creating accessible documents. Low-vision users, a highly prevalent condition, will benefit from the improvements.

Originality/value – The results of this research provide key insights into low-vision accessibility barriers, not considered in previous literature and can be a starting point for their solution.

Keywords Accessibility, Low vision, Color blindness, Statistical charts, Journals, Scientific papers, Heuristic evaluation

Paper type Research paper

Introduction

Why the statistical charts accessibility matters

The inclusion of statistical charts in academic research papers is a widespread practice. They have an important role in conveying, clarifying and simplifying the research results provided

This research has been conducted in the framework of the PhD Programme in Engineering and Information Technology of the Universitat de Lleida (UdL). This work has been partially supported by the Spanish project PID2019-105093GB-I00 (MINECO/FEDER, UE) and CERCA Programme/Generalitat de Catalunya.



by the authors (McCathieNevile and Koivunen, 2012). Charts can also save readers time and energy and reduce the word count of the papers (Franzblau and Chung, 2012).

On the other hand, other key sectors of society are also characterized by the extensive use of statistical charts as a tool to facilitate the understanding of information. This is the case, for example, of the news media. In this sense, the press has always used charts and infographics to represent data and statistics. The open data movement and the making available of large data sets in open access have only strengthened the so-called data journalism, multiplying this type of graphical representations in the media and increasing its interest among journalists, academics, computer scientists and designers (Meeks *et al.*, 2019). Business intelligence is also another area in which statistical charts serve for exploration, analysis, and communication of data (Cairo, 2017). In the educational field, the knowledge about how to interpret and create statistical charts is present in different subjects and training levels, especially in the disciplines framed under the acronym STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics), but also in other areas like social sciences or humanities. These are just some examples of key sectors of society that justify the need for accessible charts to guarantee access to information and knowledge for people with disabilities.

Visual representations enable communication of a wide variety of quantitative data, enabling readers to quickly and easily acquire and understand the nature of the underlying information (Gao *et al.*, 2012b). Although visual depictions are increasingly pervasive in science and social sciences, very little scientific literature is fully understandable because, as of now, critical graphical information is not directly accessible to visually impaired people (Gardner *et al.*, 2009).

Why low vision people (Target group)

Low vision is the loss of sight that cannot be corrected in any form. It includes different degrees of sight loss, poor sensitivity to light or to contrast, color-blindness or color vision deficiency (CVD), night blindness, problems with glare, blurred vision, hazy vision, as well as almost complete loss of sight. There are multiple causes of low vision. Hereditary and congenital conditions are the most common causes of low vision and blindness among children worldwide, cataract among adults and elderly, and in countries in Africa, Asia and South America, infectious diseases such as trachoma and onchocerciasis are the main cause (Oduntan, 2005). Low vision is the visual impairment with the highest prevalence in the world, affecting approximately 217 million people (Bourne *et al.*, 2017), and this number will increase with the aging trend of the population. It must be emphasized that 86% of people with low vision and 61% of the population with presbyopia are 50 years or older (Bourne *et al.*, 2017).

While the scientific literature published so far is mainly focused on the accessibility of statistical charts for blind people (Alcaraz *et al.*, 2020a), only some of the aspects that improve the accessibility of statistical charts for this collective have benefits for people with low vision.

The solutions that focuses on alternatives other than graphical such as structured data tables, summaries or the use of sounds to communicate trends, do not have the same ability to efficiently show trends or comparisons between variables. They also require a greater use of short-term memory and a higher cognitive load when seeking to obtain answers or conclusions from tabulated data.

We must not forget that a significant percentage of users with low vision still have enough remaining vision to visualize the charts, either simply by resizing them, or by using the support of assistive technologies such as screen magnifiers, and that these people prefer to use their remaining visual capacity in their day to day (Szpiro *et al.*, 2016), a condition that does not take into account the previous alternatives. According to their preferences, solutions

such as the possibility to customize color or to increase the size of the chart or the text would better fit this user group and, regrettably, are not included in the current research literature.

In general, there is a significant lack of research focused on analyzing accessibility barriers and adequate technical solutions to guarantee accessibility for people with low vision (Moreno *et al.*, 2020). The fact that many of these people can function independently despite certain limitations, without the help of white canes or guide dogs, makes them go unnoticed on a day-to-day basis. This has led to the description of low vision as an “invisible disability” (Shinohara and Wobbrock, 2011). An invisibility that has also been transferred to the scientific literature in a certain way.

Current situation

Splendiani and Ribera (2014) show a lack of common and clearly defined guidelines addressing accessibility issues related to figures in computer science journals, and a high variability in the application of recommendations related to accessibility features, like textual alternatives, the use of safe color palettes and sufficient contrast or the image format, resolution and dimensions. Similar cases are found in mathematics journals; the journals use vector images in most of the cases and yet they do not benefit from the possibilities for accessibility of this format (Splendiani *et al.*, 2014) compared to bitmap images.

Among the publishers that have incorporated accessibility policies in recent years, Elsevier stands out. The publishing company has recently collaborated with the Highsoft Highcharts company in the creation of a JavaScript library with accessibility features to help improve the accessibility of its web chart library (Gies, 2018). The result is an accessibility chart JavaScript module with integrated screen reader and keyboard support. Moreover, Elsevier is undertaking some initiatives improving the accessibility of its collection, as for example in the journal *Research in developmental disabilities* (Nganji, 2015). The editorial is focusing the efforts on PDF files.

Related work

Several proposals exist for making statistical charts accessible to people with visual disabilities. However, most approaches focus on blind people or on people with severe low vision (Alcaraz *et al.*, 2020a). Most of these proposals focus on one of the following four approaches: use of textual alternatives, sonification of data, generation of tactile alternatives and creation of multimodal alternatives. Regarding the use of textual alternatives, the Diagram Center (2015) has created guidelines on how to textually describe statistical charts and other types of complex images. Similarly, but oriented to a broader set of image types, the work of Splendiani (2015) focuses on how to textually describe non-text content for scientific articles. On the other hand, authors such as Corio and Lapalme (1999), Chester and Elzer (2005), Elzer *et al.* (2008), Ferres *et al.* (2010), Greenbacker *et al.* (2011), Gao *et al.* (2012a), Nazemi and Murray (2013), Kallimani *et al.* (2013) or De (2018) propose different methods for the automated generation of textual alternatives from the information available in a chart. For their part, authors such as Elzer *et al.* (2007), Agarwal and Yu (2009) or Yu *et al.* (2009) have studied the importance of captions for the understanding of a chart as “it often concisely summarizes a paper’s most important results” (Cohen *et al.*, 2003). Regarding the use of data sonification, the mapping of charts to musical tones (Cohen *et al.*, 2005) and vibrations (Evreinova *et al.*, 2008) has been explored, as also has the use of sounds to communicate trends (Alty and Rigas, 2005) (Walker and Nees, 2005) or the use of volume, timbre and position, to represent quantitative and qualitative data (Franklin and Roberts, 2003) (Treviranus *et al.*, 2018). The precision of these techniques has also been analyzed using different combinations of instruments (Brown and Brewster, 2003). For its part, the creation of tactile versions of charts and maps has an important tradition, and there are even specific

guidelines for its design (Braille Authority of North America, 2012). In literature we also find different approaches for its semi-automated generation. The works of Ina (1996), Ladner *et al.* (2005), Miele and Marston (2005) and Watanabe *et al.* (2014) are some examples. Finally, other authors opt for multimodality, combining haptic solutions with data sonification and other stimuli (Kennel, 1996; Fritz and Barner, 1999; Yu *et al.*, 2000; Roth *et al.*, 2002; Yu and Brewster, 2003; Iglesias *et al.*, 2004; McGookin and Brewster, 2006; Wall and Brewster, 2006; Doush *et al.*, 2009; Goncu *et al.*, 2010).

Among these sources, especially the ones that focus on evaluation, the main references are the *Web Content Accessibility Guidelines* (WCAG). The WCAG have been adopted by many countries as the minimum legal requirement for public—and in some cases even private—websites to comply. In the case of European countries, the WCAG 2.1 has been integrated into the *301 549: Accessibility requirements suitable for public procurement of ICT products and services in Europe v2.1.2* (ETSI, 2018) a reference standard determining the accessibility of websites and mobile applications of public sector organizations.

The WCAG are organized under four theoretical principles covering every aspect of accessibility: perceivable, operable, understandable and robust. Every principle is detailed in several specific guidelines, which in turn are translated to directly assessable criteria divided in three levels of conformity. The *WCAG 2.1* (W3C, 2018) have incorporated in their last update several success criteria relevant for low vision users. In the context of this article, new success criteria such as 1.4.10 Reflow (AA), 1.4.11 Non-Text Contrast (AA), 1.4.13 Content on Hover or Focus or 2.5.5 Target Size (AAA), are especially relevant.

From a business and marketing focused point of view Evergreen and Emery (2018) have created a data visualization checklist, relying on design principles collected by Evergreen and Metzner (2013), which covers many relevant aspects of its accessibility. The checklist has been rigorously tested by Sanjines (2018), and implemented as an online validator more recently (Evergreen, 2020).

On the other hand, in recent years other resources have also been published aimed at collecting accessibility requirements for people with low vision, including some relevant to statistical charts. This is the case of the accessibility requirements for people with low vision published by the Low Vision Task Force of the W3C (Allan *et al.*, 2019), the compilation of adaptation techniques for this same user profile by Moreno *et al.* (2020) or Van Achterberg (2019). In the same vein, but with a more practical orientation, Sorge (2020) has delved into the accessibility not only of statistical charts, but also of the remainder of STEM documents (Sorge *et al.*, 2020) due to its importance in guaranteeing students' access to these subjects under equal conditions.

Finally, in the field of big data and data-visualization techniques, Sathi and Sadhasivan (2020) have explored solutions to enable visually impaired users to access the Big data analysis results using Tableau Desktop software. For its part, Snaprud and Velazquez (2020) outline related practices and approaches to accessibility improvements and propose a way to evaluate and compare accessibility aspects of data visualizations based on the WCAG 2.1 guidelines and WCAG-EM 1.0 methodology. Similarly, Lundgard *et al.* (2019) analyze a set of sociotechnical considerations in the design of data visualizations for people with visual disabilities, focused on the analysis of the case study of an inclusive design workshop held in collaboration with the Perkins School for the Blind.

Regarding the field of scientific publication, Simon *et al.* (2019) results show that the most common accessibility problems with charts and figures in the proceedings published by the Innovation and Technology in Computer Science Education (ITiCSE) are captions that do not adequately describe the figure and the use of font sizes too small to be readable. Our hypothesis is that there are many other accessibility problems present in scientific journal papers. Furthermore, a wide range of barriers to access statistical charts are experienced by the different low vision profiles. These barriers can be overcome by including textual

alternatives, high contrast images or with the use of patterns and textures as an alternative to the use of colors, among others, but they are not always required to the authors, or reviewed in sufficient detail by the publishers of these journals before publication.

To fill in the existing low-vision gap for this type of content, this paper aims to evaluate the accessibility for people with low vision of statistical charts in a sample of ten library and information science (LIS) representative science journals through a heuristic evaluation. Artwork submission policies are also reviewed. The results should confirm our hypothesis that there is a significant number of accessibility barriers for people with low vision in articles in scientific journals beyond those detected in other works published by other authors, making it difficult or impossible for this group to access research results presented as statistical charts.

Research method

The research is based on the heuristic evaluation method, one of the most efficient usability evaluation techniques without users. Streamlined, the heuristic evaluation is a usability engineering method to find the usability problems in a user interface design. It involves having a small set of evaluators examining the interface and judging its compliance with recognized usability principles (the “heuristics”) (González *et al.*, 2001). This technique has its origin in the work of Johnson *et al.* (1989) and was widely promoted in the seminal work of Nielsen and Molich (1990). Heuristic evaluations are very widespread in the field of usability and accessibility. On the basis of these works other authors have made methodological proposals for the preparation of new lists of heuristics for the evaluation of both general aspects related to usability, accessibility or user experience, known as “domain heuristics”, leading to the emergence of specific and rigorous methodologies focused on how to create new domain heuristics (Rusu *et al.*, 2011; Van Greunen *et al.*, 2011; Hermawati and Lawson, 2015; Jiménez *et al.*, 2017; Quiñones *et al.*, 2018).

In our research, we follow the method by Quiñones *et al.* (2018), adapted for the creation of a list of heuristic indicators to evaluate the accessibility of statistical charts considering the needs of low vision and CVD users (Alcaraz *et al.*, 2021). The heuristic indicators set proposed is made up of 18 indicators that cover aspects related to the information transmitted by the chart (title, axes, text alternatives, caption. . .), its visual display (typeface, colors, contrast. . .) and the behavior and functionalities they offer (personalization, visible focus indicator. . .).

In some cases, non-compliance to the heuristic affects the user experience of the chart, mildly compromising its accessibility. However, there are cases where the consequences of not complying with the heuristic results in one or more user profiles having serious difficulties to perceive the chart or being unable to do it, completely compromising its accessibility. For that reason, each heuristic has been weighed according to the criteria established in Table 1.

Criteria	Weight
If the chart fails the heuristic, one or more user profiles will not have a satisfactory user experience with the chart, mildly compromising its accessibility	x1
If the chart succeeds at the heuristic the chart’s accessibility slightly improves	
If the chart fails the heuristic, one or more user profiles will have serious difficulties to perceive the chart information, severely compromising its accessibility	x2
If the chart succeeds at the heuristic the chart’s accessibility considerably improves	
If the chart fails the heuristic, one or more user profiles will not be able to perceive the chart information, totally compromising its accessibility	x3
This heuristic is key to provide access to the chart for one or more user profiles	

Table 1.
Weighting criteria

The complete list of heuristic indicators is shown in [Table 2](#). However, some of the heuristic indicators in the initial list were implemented differently in scientific journal articles compared to news media ([Alcaraz et al., 2020b](#)), in particular, it is worth mentioning:

- (1) H1 “Title” versus H3 “Caption”: most articles do not provide a title but instead they provide a caption. Following the initial evaluation criteria, H1 should be scored with 0 in almost all the charts. After a review, the evaluators decided not to take H1 into account, as not including the title responds to common practices of scientific articles.
- (2) H6 “Data source”: most articles presented charts with data from the article itself, thus not explicitly mentioning the source of the plotted numbers. In this case, again, the evaluators decided not to include this indicator on the final score.
- (3) H15 “Without disturbing elements”: after evaluating the charts in previous research, the evaluators discovered ads and watermarks for copyright purposes hindering important information from the charts and created an indicator to penalize it; but in the current research such practice is not common at all and the evaluators did not include this indicator in the final evaluation either.

ID	Heuristic	Weight
H1	Does the chart have a brief and descriptive title that helps users identify it among others appearing on the same page, as well as navigate between them? (<i>not included in the final score</i>)	x1
H2	If the chart uses shapes, color or patterns encodings is there a legend to decodify them?	x1
H3	If the chart needs axes, are they visible and have appropriate, concise and clear labels and titles?	x1
H4	Does the chart have a caption helping understand it?	x1
H5	Are all the abbreviations in the chart expanded?	x1
H6	Does the chart include information about its source (institution, date and URL of dataset)? (<i>not included in the final score</i>)	x1
H7	Is there an optimized version for printing available?	x1
H8	Does the chart provide a text alternative that briefly informs about its contents and helps users decide if they want more information?	x1
H9	In case the text alternative does not adequately convey the information provided by the chart, does the chart provide a textual long description containing complete and structured information about the data?	x3
H10	If the chart uses colors to provide information, is the color scheme safe for the different types of color vision deficiencies, including achromatopsia (total absence of color vision)?	x3
H11	Does the visual presentation of text and background have a contrast ratio of at least 4.5:1, and the non-text elements of the chart a contrast ratio of at least 3:1?	x3
H12	Is the text included in the chart legible (sans-serif font, font size of at least 16px or 12pt, line spacing of at least 1.5, no abuse of capital letters, bold or italics)?	x2
H13	If the chart is provided as a bitmap image, does the image have sufficient quality for a clear visualization and does it support a zoom of at least 200% without blurring or pixelation?	x3
H14	Can the chart be zoomed up to 200% without an assistive tool and without loss of content or functionality?	x2
H15	Does the chart have any disturbing element like watermarks that hinder the visibility of the chart? (<i>not included in the final score</i>)	x3
H16	When an element of the chart (lines, bars, points. . .) receives the focus, is there a visual indication of it?	x1
H17	Is it possible to navigate between the marks and elements of the chart with keyboard, mouse and gestures?	x3
H18	Is it possible to customize the chart (color scheme, contrast, typography. . .) with assistive technologies or with a resource-specific customization system?	x2

Table 2.
Heuristic indicators set

With the aim of achieving quantitative results that would later make it possible to compare the means or the level of accessibility with respect to a maximum score, a Likert scale of four points was used for the calculation of the level of compliance of each indicator. The range goes from 0 (worst possible score) to 4 (best possible score). Additionally, the options “Not applicable” and “It is not a problem” have been added, for those cases in which the question is not pertinent, or in which not complying with the indicator does not lead to an accessibility problem, respectively. The Likert scale is shown in [Table 3](#).

The score in the Likert scale is multiplied by the weight resulting in a weighed value, for every indicator. The final value is multiplied by 10. In parallel, the maximum weighed value of the overall chart is calculated, considering that the maximum score for the “Not Applicable” and “Failure is not a problem” indicators is 0, and 4 for all the other indicators. Finally, the maximum weighed value is used to divide the obtained weighed value. The score formula is shown below:

$$\frac{\left(\sum_{i=1}^n \text{assigned score} \times \text{weight} \right) * 10}{\sum_{i=1}^n \text{maximum score} \times \text{weight}}$$

In a previous stage of our research ([Alcaraz et al., 2020b](#)), we used our heuristic indicators set to evaluate the accessibility of statistical charts in the digital newspaper for people with low vision. This evaluation has also been used to validate the efficiency of the proposed indicators ([Jiménez et al., 2017](#)), with 14 WCAG 2.1 success criteria selected as control heuristics ([Appendix 2](#)). The efficiency was measured through the following metrics:

- (1) *Ratio of unique problems*. The relation of unique problems identified by the new set of heuristics in comparison to the control heuristics.
- (2) *Ratio of problem dispersion*. The distribution of problems identified by each heuristic in the new set of heuristics in comparison to the control heuristics.
- (3) *Ratio of severity*. The severity of problems identified with the new set of heuristics in comparison to the control heuristics.
- (4) *Ratio of specificity*. The specificity of problems identified with the new set of heuristics in comparison to the control heuristics.

If the ratios are bigger than 1 then it can be stated that the heuristic indicators set identifies more unique problems.

The results were as follows: ratio of unique problems: 2.54, ratio of problem dispersion: 1.52, ratio of severity: 1.07 and ratio of specificity: 1.27. Demonstrating that the proposed heuristics find more unique problems, the problems are better distributed, more severe and specific than in the control set, and therefore the new set of heuristics is much more suitable for evaluating the accessibility of statistical charts than WCAG 2.1.

Score	Level of compliance
–	Not applicable (NA)
–	Failure is not a problem (NP)
0	No compliance
1	Low compliance
2	Acceptable compliance
3	High compliance
4	Excellent compliance

Table 3.
Likert scale

Analysis undertaken and sample of charts

The sample of charts to be evaluated (see [Table 4](#)) was taken from under these considerations:

- (1) Samples were taken from the ten library and information science journals with the highest impact factor according to the ranking of the Journal Citation Report (Science Edition 2018, 6 April 2020).
- (2) For each journal, 2019 issues were considered, five charts for each, among basic charts: bar charts, line charts, scatterplots and pie charts. Issues were reviewed from January to December, only one chart per issue was included (except in the *Journal of computer-mediated communication*, where two charts from the same issue had to be included because there were no more charts available). Preferably, charts that appear alone, not combined with other charts in the same figure, were selected in order to guarantee that the caption, alternative text. . . refer to the analyzed chart. In the case of the *Journal of the American Medical Informatics Association* only open access issues were considered due to access restrictions during the COVID-19 Pandemic. In the *Journal of Computer-Mediated Communication*, only two charts fulfilling the requirements were identified, so in this case only two out of the five planned charts were included in the sample.
- (3) Once selected, we observed that many journals offer the figures in several formats: embedded in the PDF, as a JPEG or PNG graphic in the HTML file, or as a separate high-resolution image or PowerPoint. As the user can select any of these alternatives, the best option possible was considered for evaluation purposes, often the high-resolution image, sometimes the PowerPoint slide. . . there is an exception to this rule: in the case of the *MIS Quarterly* journal, and due to COVID restrictions, the authors were only able to access the PDF version, so in this case no other formats were considered.

Journal	Categories	Impact factor
International Journal of Information Management	Information Science and Library Science	5.063
Journal of Computer-Mediated Communication	Communication; Information Science and Library Science	4.896
Journal of Knowledge Management	Management; Information Science and Library Science	4.604
MIS Quarterly	Management; Information Science and Library Science; Computer Science, Information Systems	4.373
Government Information Quarterly	Information Science and Library Science	4.311
Journal of the American Medical Informatics Association	Medical Informatics; Health Care Sciences and Services; Information Science and Library Science; Computer Science, Information Systems; Computer Science, Interdisciplinary Applications	4.292
Information and Management	Management; Information Science and Library Science; Computer Science, Information Systems	4.120
Journal of Strategic Information Systems	Management; Information Science and Library Science; Computer Science, Information Systems	4.000
Information Processing and Management	Information Science and Library Science; Computer Science, Information Systems	3.892
Journal of Informetrics	Information Science and Library Science; Computer Science, Interdisciplinary Applications	3.879

Table 4.
List of library and information science journals selected ordered by the impact factor

Despite the limitations on the sample, the final set of charts could be considered a representation of what is found in scientific publications in the field, and the analysis can give a precise insight of common practices.

The complete list of the analyzed charts is included in [Appendix 1](#).

Additionally, to complement the information gathered from actual charts in each journal, the researchers reviewed their submission policy (as of May 10 2020), regarding general guidelines for authors and specific guidelines on figures, as stated in the journal website and on the publisher's website (often more complete). The analysis focused on recommendations related to the proposed indicators for heuristic evaluation.

Finally, researchers also applied the heuristics to charts created by default by one of the most common authoring tools: MS Excel, used in many of the analyzed charts. The version used for the analysis was Microsoft Excel Office 365 for macOS operating system, which does not differ much from other current versions of this Office Suite. With this tool, one of the authors reproduced a bar chart, a line chart, a pie chart and a stacked bar chart from the sample (in particular charts numbered as 4, 14, 21 and 30) with default options and he tested the heuristics upon them, not taking into account those that depend exclusively on the author (such as title semantics – H1 – for example). He also recorded whether there was an option to change default settings in order to fulfill accessibility requirements. The logic behind this last step is that authoring tools play a key role in terms of the final accessibility of a chart, since it cannot be expected that authors know all the requirements of users and the tool should provide good defaults; in order to grant accessibility to a large scale, the charts created by a tool must meet the accessibility guidelines and the requirements of different users.

Evaluators team. Four experienced evaluators assessed the charts using the heuristic evaluation methodology described previously. All of them followed the recommendations in the guide of the scoring methodology which thoroughly explained the scope of each principle and showed examples of possible scores prepared by the first author; this was valued very helpful in obtaining consistent evaluations. The evaluation process took place between April 22 and May 3, 2020. Three of the evaluators had previous experience with the methodology used, having applied it in a previous work ([Alcaraz et al., 2020b](#)). Each evaluator performed his or her evaluations independently and a final meeting was held to review all the results, especially the discrepancies. Ideally there should not be any discrepancy between the evaluators, because they agree on the severity of the problems and they fully understand the heuristic principles. However, due to subjectivity affecting the scoring process, and to mitigate its effects, the standard deviation between the different evaluators' score is calculated and a threshold is set. If the standard deviation is higher than this threshold then, the scores are discussed jointly, to better understand the identified problem and the applied heuristic, until the different evaluators' scores are more coherent. After the scores are coherent, the final evaluation given is the average of the different evaluators' scores.

On this research, of the 705 indicators analyzed (15 heuristics for each of the 47 charts evaluated), only in 37 cases (5.248%) the scores differed with a standard deviation greater than 1, and only in 2 cases (0.283%) the different scores presented a standard deviation greater than 2. The threshold was set at 2. These results show a great coherence between the different evaluators' score and they can be perceived as a display of the quality of the heuristic indicators. When deviations higher than 2 were found, the evaluators discussed in depth the specific criteria used to score, and, in both cases, small corrections + -1 were applied after a better understanding of the logic.

Limitations

In this kind of research, sizing the sample is very complicated as bigger sizes imply a time cost difficult to assume. Moreover, the time cost is multiplied by the number of evaluators. On the other hand, information saturation is a good indicator of having covered the many different

cases that could appear. Information saturation signifies that new cases do not add new information to the research, as the results are homogeneous, and at some point, even repetitive. This is the case for this research. The sample of 10 journals, and a total of 47 charts, may be limited for generalization to the broad spectrum of LIS journals; nonetheless, it is representative enough to expose common practices and the most frequent accessibility problems in these contexts, and the results were coherent and repetitive among the sample.

Findings/results

Artwork submission policies

None of the journals analyzed had a specific accessibility policy statement on their websites, but Elsevier's journals link to the accessibility policy of the publisher's website.

Elsevier stands out among the other publishers by including in its *Artwork and media instructions* different recommendations that help ensure the accessibility of the statistical charts included in its publications. For example, the use of a color-blind safe colors' palette.

All the journal websites include information about how to submit artwork in papers, although with very different degrees of exhaustiveness. None of the journals include all the requirements listed in the heuristics proposed in this work to ensure the accessibility of the statistical charts.

None of the journals offer information about how to supply the axes of the charts (H3) in case they are required; on whether or not to include the data source and in what way (H6); they do not give advice for the inclusion of a short text alternative or long descriptions (H8 and H9); they do not mention the requirement to support a magnification up to 200% without loss of content or functionality (H14) and, finally, they do not tell authors the possibility of including vector charts with separated elements capable of receiving focus (H16), of being navigable through different interfaces (H17), or of allowing greater customization (H18).

The *Journal of the American Medical Informatics Association* is the only one that requires authors to include always a title (H1), and legends (H2) for their charts when necessary (see [Table 5](#), column 10, rows 4 and 5). Seven out of the 10 journals analyzed (except *Journal of computer-mediated communication*, the *Journal of knowledge management* and the *Journal of the American Medical Informatics Association*) require authors to include captions to their figures (H4). The *International journal of information management* also requires authors to provide it outside the image and not as an image of text. This is an important point, because as text it can be read by a screen reader, and customized to the user's preferences for font family, size or color. All Elsevier journals emphasize that the caption should comprise a brief title and a description of the illustration.

Elsevier's journal guidelines advise authors to minimize the text within the illustrations and to explain all symbols and abbreviations used (H5) (see columns 2–7, row 9 of [Table 5](#)). The rest of the editors do not make any specific mention to the abbreviations of the figures, although most of them do refer generically to the abbreviations used throughout the text.

Although optimizing the PDF version is the publisher's duty (H7), Elsevier is the only one that allows authors to decide if the figures in their papers should appear as a single, 1.5 or 2-column fitting image, thus allowing better use of the entire width of the page (see [Table 5](#), columns 2–7, row 11).

All journals except *MIS quarterly* ask authors to use safe colors for people with CVD (H10). In the case of the *Journal of computer-mediated communication*, they also mention the use of patterns in combination with color so that the differentiation of elements does not rely on color alone. It is precisely this journal the only one that underlines the importance of using images with adequate color contrast (H11) (see [Table 5](#), column 11, row 15).

Heuristic	Gov. Inf. Q.	Int. J. Inf. Manage.	J. Informetr.	Inf. Manage.	Inf. Process. Manage.	J. Strateg. Inf. Syst.	J. Knowl. Manag.	MIS Q.	J. Am. Med. Inf. Assoc.	J. Comput.-Mediat. Commun.
Publisher	Elsevier						Emerald	Management Information Systems Research Center, Carlson School of Management, University of Minnesota	Oxford University Press	Wiley
General accessibility policy	Yes					No	No	No	No	No
General accessibility guidelines	No mention									
H1	No mention								This requirement is included in authors' guidelines You must include figure titles and legends within the manuscript file—they should not be included in the image file	No mention
H2	No mention								You must include figure titles and legends within the manuscript file—they should not be included in the image file	No mention
H3	No mention									

(continued)

Heuristic	Gov. Inf. Q.	Int. J. Inf. Manage.	J. Informetr.	Inf. Manage.	Inf. Process. Manage.	J. Strateg. Inf. Syst.	J. Knowl. Manag.	MIS Q.	J. Am. Med. Inf. Assoc.	J. Comput.-Mediat. Commun.
H4	This requirement is included in authors' guidelines Ensure that each illustration has a caption. Supply captions separately, not attached to the figure	This requirement is included in authors' guidelines Ensure that each illustration has a caption. Supply captions separately, not attached to the figure figure itself) and a description of the illustration. Keep text in the illustrations themselves to a minimum but explain all symbols and abbreviations used This requirement is included in authors' guidelines All figures (include relevant captions) The corresponding caption should be placed directly below the figure					No mention	This requirement is included in authors' guidelines Supply succinct and clear captions for all tables, figures and plates	No mention	
H5	This requirement is included in authors' guidelines Keep text in the illustrations themselves to a minimum but explain all symbols and abbreviations used This requirement is included in authors' guidelines						No mention			
H6	No mention									
H7	This requirement is included in authors' guidelines Indicate per figure if it is a single, 1.5 or 2-column fitting image This requirement is included in authors' guidelines						No mention			
H8	No mention									
H9	No mention									

(continued)

Heuristic	Gov. Inf. Q.	Int. J. Inf. Manage.	J. Informetr.	Inf. Manage.	Inf. Process. Manage.	J. Strateg. Inf. Syst.	J. Knowl. Manag.	MIS Q.	J. Am. Med. Inf. Assoc.	J. Comput.-Mediat. Commun.
H10	This requirement is included in authors' guidelines Ensure that color images are accessible to all, including those with impaired color vision This requirement is included in authors' guidelines							No mention	This requirement is included in authors' guidelines Note that the use of red and green in figures may cause difficulty for color-blind people For advice on how to avoid this problem, please see http://fly.iam.u.tokyo.ac.jp/html/manuals/pdf/color_blind.pdf	This requirement is included in authors' guidelines Use a pattern in combination with color so that the differentiation of elements does not rely on color alone Label colored areas directly in the image or use lines to connect the object to its label rather than placing the label in a legend, if possible. When you use this strategy, readers do not have to match colors in the figure to colors in the legend and the figure can be made more accessible
H11	No mention	No mention	No mention	No mention	No mention	No mention	No mention	No mention	No mention	This requirement is included in authors' guidelines It is important that color figures have adequate color contrast to allow users living with color-vision deficiencies

(continued)

Table 5.

Heuristic	Gov. Inf. Q.	Int. J. Inf. Manage.	J. Inf. Infometr.	Inf. Manage.	Inf. Process. Manage.	J. Strateg. Inf. Syst.	J. Knowl. Manag.	MIS Q.	J. Am. Med. Inf. Assoc.	J. Comput.-Mediat. Commun.
H12	No Aim to use the following fonts in your illustrations: Arial, Courier, Times New Roman, Symbol, or use fonts that look similar Line weights range from 0.10 pt to 1.5 pt	Always include/embed fonts and use the recommended fonts where possible: Arial, Helvetica, Courier, Times, Times New Roman, Symbol <i>font size:</i> As a general rule, the lettering on the artwork should have a finished, printed size of 7 pt for normal text and no smaller than 6 pt for subscript and superscript characters. Smaller lettering will yield text that is hardly legible. This is a rule-of-thumb rather than a strict rule. There are instances where other factors in the artwork (e.g. tints and shadings) dictate a finished size of perhaps 10 pt Line weights range from 0.10 pt to 1.5 pt					No mention	Half compliance Figures [...] should be in Arial font	No mention	Half compliance Within figure images, use a sans serif font with a type size between 8 and 14 points Words within the image part of a figure may be single-spaced, one-and-a-half-spaced, or double-spaced, depending on which is the most effective layout for the information Align the text of an APA Style paper to the left margin Table and figure numbers (in bold), titles (in italics)

(continued)

Heuristic	Gov. Inf. Q.	Int. J. Inf. Manage.	J. Informetr.	Inf. Manage.	Inf. Process. Manage.	J. Strateg. Inf. Syst.	J. Knowl. Manag.	MIS Q.	J. Am. Med. Inf. Assoc.	J. Comput.-Mediat. Commun.
H13	<p>This requirement is included in authors' guidelines</p> <p>Size the illustrations close to the desired dimensions of the published version</p> <p>EPS (or PDF): Vector drawings, embed all used fonts. TIFF (or JPEG): Color or grayscale photographs (halftones), keep to a minimum of 300 dpi. TIFF (or JPEG): Bitmapped (pure black and white pixels) line drawings, keep to a minimum of 1,000 dpi. TIFF (or JPEG): Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale), keep to a minimum of 500 dpi</p> <p>Please make sure that artwork files are in an acceptable format (TIFF (or JPEG), EPS (or PDF), or MS Office files) and with the correct resolution</p>	<p>This requirement is included in authors' guidelines</p> <p><i>File formats</i> – EPS (Encapsulated PostScript) is the preferred format for vector graphics (charts, graphs, technical drawings, annotated images)</p> <p>TIFF (Tagged Image File Format) is the recommended file format for bitmap (line art), grayscale and color halftone images that are solely using pixels</p> <p>XLS, XLSX</p> <p>JPEG files are accepted for grayscale and color halftone images (photographs, micrographs, etc.)</p> <p><i>Minimum Resolution and pixel dimensions</i> – One column: 300 ppp width 1,063</p> <p>1.5 columns: 300 ppp width 1,654</p> <p>Double column: 300 ppp width 2,244</p> <p>For linear art used for graphs and charts minimum resolution of 1,000 dpi (or 1,200 dpi if the image contains very fine line weights) width 3,543 (single column), 5,512 (1.5 column), 7,480 (double column)</p>	<p>This requirement is included in authors' guidelines</p> <p>Formats Regardless of the application used, when your electronic artwork is finalized, please "save as" or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below): EPS (or PDF): Vector drawings. Embed the font or save the text as "graphics". TIFF (or JPG): Color or grayscale photographs (halftones): always use a minimum of 300 dpi. TIFF (or JPG): Bitmapped line drawings: use a minimum of 1,000 dpi. TIFF (or JPG): Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale): a minimum of 500 dpi are required. Please do not:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Supply files that are optimized for screen use (e.g. GIF, BMP, PICT, WPG); the resolution is too low. • Supply files that are too low in resolution. • Submit graphics that are disproportionately large for the content <p>Color artwork Please make sure that artwork files are in an acceptable format (TIFF (or JPEG), EPS (or PDF), or MS Office files) and with the correct resolution</p>	No mention	No mention	<p>This requirement is included in authors' guidelines</p> <p>Images of maps, charts, graphs, and diagrams are best rendered digitally as geometric forms called vector graphics. Common file types are .eps, .ai, and .pdf. .eps files will be converted for online publication. Vector images use mathematical relationships between points and the lines connecting them to describe an image</p> <p>These file types do not use pixels; therefore, resolution does not apply to vector images. Figures prepared as .doc/docx or .jpeg/jpg files may not be accepted</p>	No mention			

(continued)

Regarding the aspects related to legibility (H12), all the journals except the *Journal of knowledge management* and the *Journal of the American Medical Informatics Association*, present different recommendations related to the choice of the font family, its minimum size or line spacing. However, not all of these guidelines coincide with the recommendations of authors such as Bernard *et al.* (2001), the recommended 12 pt. or 16 px equivalents for minimum font size (Nielsen, 2002; Kitchel, 2019) or the use of line spacing of at least 1.5 pt. (Russell-Minda *et al.*, 2007; Calabrese *et al.*, 2010; Blackmore-Wright *et al.*, 2013), or with the preferences of low vision users (WebAIM, 2018) regarding the use of sans-serif fonts.

Finally, all journals except the *Journal of computer-mediated communication*, the *Journal of knowledge management* and the *MIS quarterly*, require authors to send images of sufficient quality and in formats suitable for their intended use.

The complete results of the analyzed editorial policies are shown in Table 5.

Evaluation results

All the charts have a legend (H2) if they require it and the majority of them (70.22%) have received scores between 2 and 4 (acceptable and excellent compliance). Only in 4.79% of the cases (9 out of 188 evaluations) the heuristic H2 has been scored with a 1 (low compliance), while the score of zero has only been given in 2.13% of the cases (4 out of 188 evaluations).

The H3 heuristic (axes) has also been evaluated positively in most cases, with scores of 2, 3 or 4, in 46.28% (87 out of 188 evaluations), 37.23% (70 out of 188 evaluations) and 4.26% (8 out of 188 evaluations) of cases, respectively. Even though, as mentioned above, most authors were not offered specific guidance in this aspect.

In those charts in which abbreviations (H5) were used, 17.02% of the cases (32 out of 188 evaluations) corresponded to standardized abbreviations, and the evaluators considered the lack of text expansion not a problem. In 35.11% of the cases (66 out of 188 evaluations), the charts showed abbreviations that were not expanded in the same chart, but instead they were expanded within the body of the article, and thus received a low score.

All publishers offered an optimized version for printing in PDF format. However, in many cases (34.57%) the two columns layout of the article make the charts too small to be readable.

Only 10.64% of charts (20 out of 188 evaluations) do not present any type of short textual alternative. However, only in 14.89% of cases (28 out of 188 evaluations) the highest score was given to this heuristic. On the contrary, long descriptions have not been found in almost any chart, scoring a zero in 97.34% of cases (183 out of 188 evaluations).

In 72.34% of charts (136 out of 188 evaluations), color is used as a visual means of conveying information or distinguishing a visual element, and in 67.65% of these cases a safe color palette or a pattern is used to facilitate differentiation. In all other cases, the colors used are not safe for one or more CVD profiles (see Figure 1).

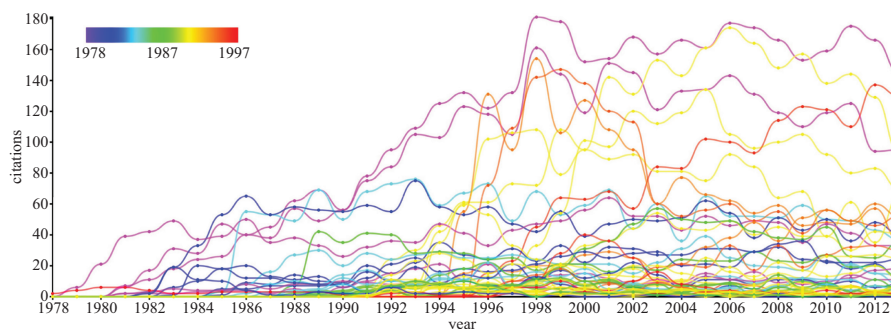


Figure 1.
This chart of the *Journal of Informetrics* does not meet some of the heuristics: the legend does not help to identify the represented values, the line colors are not safe for color-blind people, and the non-text contrast is insufficient

32.45% of charts (61 out of 188 evaluations) has a text or non-text contrast ratio sufficient or higher than required. In the rest of charts (65.55%, 127 charts) one or more color combinations do not reach the minimum required ratios (see Figure 2).

In general, the charts enjoy a good score for the legibility heuristic (H12), which was rated like “acceptable compliance” in 37.23% of cases (70 out of 188 evaluations), “high compliance” in 33.51% (63 out of 188 evaluations) and “excellent compliance” in 18.62% (35 out of 188 evaluations). It has only been scored with 1 in 9.04% of the cases (17 out of 188 evaluations), and with 0 in 1.6% (3 out of 188 evaluations).

In all the papers analyzed, images in bitmap format (JPEG or PNG) are used for their charts. The vast majority (84.57%) get a score of 4 on the Likert scale (159 out of 188 evaluations), while only 2.13% of cases (4 out of 188 evaluations) have scored “no compliance” or “low compliance” in heuristic H13 (image quality) (see Figure 3).

In 95.21% of cases (179 out of 188 evaluations), the resize heuristic (H14) was scored with a 4, corresponding to “excellent compliance”. This is explained, in part, by the methodological choice of the best version available of the image (HTML, PDF, PPTX or the high-resolution JPEG or PNG version linked from the HTML version).

The heuristics related to the visibility of focus (H16) and device independent navigation (H17) have been rated as not applicable in all cases, because charts are raster images in which their marks (lines, points or bars) cannot be accessed. It is worth pointing out that we have not found any chart made with Highcharts (see introduction) in Elsevier’s journals.

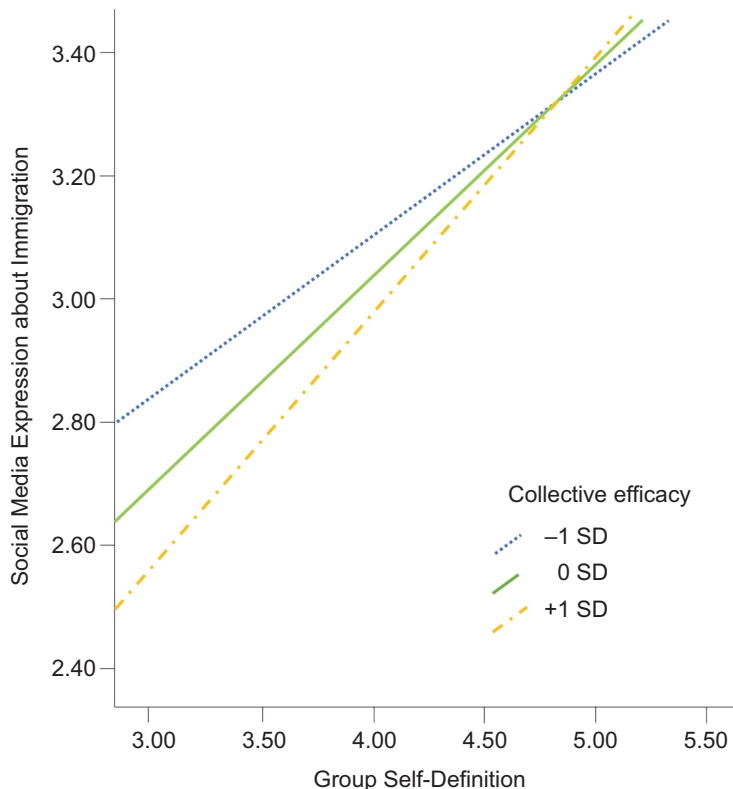


Figure 2. When the contrast between the color of the lines and the background is not sufficient, people with low contrast sensitivity will have serious difficulties or even be unable to perceive them. In this example of the *Journal of computer mediated communication*, the contrast ratio between the yellow and the green line with the background is 1.7:1 and 1.8:1 respectively, far from the 3:1 ratio recommended by the W3C

If the images used are raster images, they prevent or greatly hinder the personalization of charts through assistive technologies, which automatically scores 0 (no compliance) in heuristic H18 (customization).

Figure 4 shows the average score by journal and the total average score and Table 6 shows the average score of all the evaluators by chart.

Microsoft Excel conformance with heuristics

As described in the methodology section, 4 charts were reproduced in Excel with default options and then evaluated with the heuristics, in order to verify the role of the authoring tool on the result.

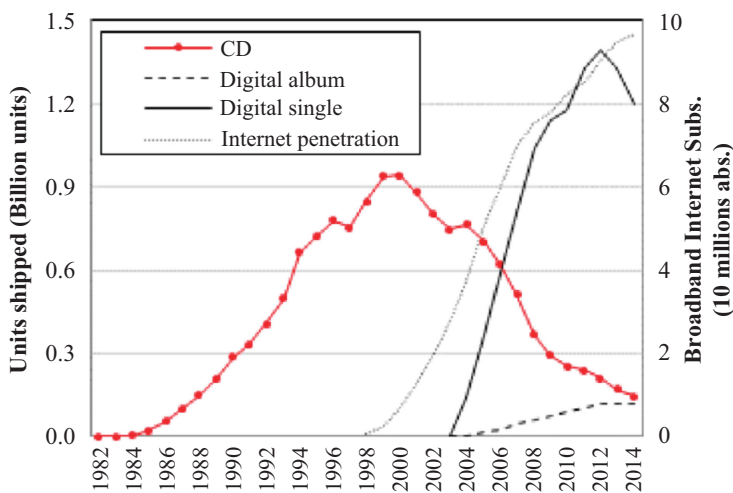


Figure 3. When the image quality is extremely low, the legibility of the chart can be compromised not only by readers with low vision, but by anyone. This chart from *MIS Quarterly* journal is a good example, as we can see on the pixelated text

Average score by journal

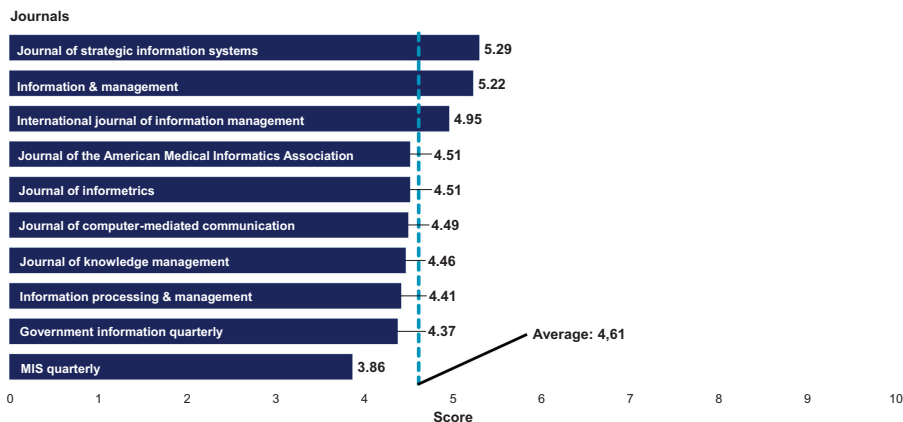


Figure 4. Average score by journal on a scale of 0–10

LHT	Journal	Chart	Score
	International Journal of Information Management	Chart 1	4.58
		Chart 2	5.13
		Chart 3	5.24
		Chart 4	4.17
		Chart 5	5.63
	Journal of Computer-Mediated Communication	Chart 6	4.67
		Chart 7	4.31
	Journal of Knowledge Management	Chart 11	3.88
		Chart 12	5.30
		Chart 13	5.40
		Chart 14	5.00
		Chart 15	4.69
	MIS Quarterly	Chart 16	2.91
		Chart 17	4.14
		Chart 18	3.91
		Chart 19	4.06
		Chart 20	4.25
	Government Information Quarterly	Chart 21	4.25
		Chart 22	4.15
		Chart 23	4.54
		Chart 24	4.67
		Chart 25	4.24
	Journal of the American Medical Informatics Association	Chart 26	4.52
		Chart 27	4.73
		Chart 28	5.02
		Chart 29	4.89
		Chart 30	3.41
	Information and Management	Chart 31	5.46
		Chart 32	5.08
		Chart 33	4.50
		Chart 34	5.88
		Chart 35	5.18
	Journal of Strategic Information Systems	Chart 36	4.48
		Chart 37	5.79
		Chart 38	5.50
		Chart 39	5.45
		Chart 40	5.24
	Information Processing and Management	Chart 41	4.08
		Chart 42	5.31
		Chart 43	4.00
		Chart 44	3.74
		Chart 45	4.91
	Journal of Informetrics	Chart 46	3.50
		Chart 47	4.93
		Chart 48	5.34
		Chart 49	4.07
		Chart 50	4.72

Table 6.
Average score by chart

Six heuristics do not relate to the authoring tool and thus were not considered: abbreviations (H5), version for printing (H7), resizing (H14), receiving focus (H16), independent navigation (H17) and customization (H18).

The requirements set by three of the heuristics, caption (H4), data source (H6) and long description (H9), were not fulfilled by the charts as the tool does not have any procedure or

interaction to include them. On the contrary, four heuristics could be correctly implemented by the tool: title (H1), legend (H2), alternative text (H8) and image quality (H13)

Finally, four elements: data axes (H3), safe colors (H10), contrast (H11) and legibility (H12), do not meet the requirements unless the default options are changed. In fact, none of the four color sets (called “Palettes”) nor the 7 monochrome color schemes provided by Microsoft Excel by default, meet the criteria for safe color and contrast set by the WCAG 2.1 (3:1 in chart sections next to each other). Thus, in order to meet the requirements, the author must manually select accessible colors and contrasts, as well as establish adequate legibility parameters. Table 7 summarizes the results of the heuristic evaluation.

Discussion

Some incoherencies between the technical suggestions of image submission and their application in analyzed charts also emerged. For example, in the *Journal of informetrics* and the *Information processing and management* of Elsevier we found some papers where safe colors were not used to meet the needs of all profiles with CVD. A situation that repeats in two of the five charts analyzed of the *Journal of the American Medical Informatics Association*. In the case of the *Journal of computer-mediated communication*, even though its guidelines indicate the need for the figures to have adequate color contrast, the two papers analyzed from this journal do not meet this requirement. In contrast, in the *MIS quarterly* journal, although this requirement was not found in its authors guidelines, all charts that use color to convey information comply with a very high or excellent level due to the use of patterns.

All analyzed charts have a caption. However, in most cases, these are limited to function as replacements for the title. In most cases, the text alternative is limited to repeating the caption, therefore, far from being useful for users.

Regarding abbreviations, although Elsevier clearly indicates in its guidelines for authors that all the symbols and abbreviations used should be explained, the truth is that in the five journals from this publisher: *International journal of information management* (3 out of 3 cases), *Government information quarterly* (1 out of 2 cases), *Information and management* (4 out of 4 cases), *Journal of strategic information systems* (2 out of 2 cases) and *Information processing and management* (2 out of 2 cases), a common practice is that the abbreviations are explained in the main body of the article and not in the same chart. Thus, despite the publisher’s requirement is met, the reader is forced to search for the meaning of the abbreviation in the text even if he or she only wants to consult the results of the research available in the charts.

In two out of the three journals that do not include technical requirements related to image quality (resolution, dimensions, etc.), the *Journal of knowledge management* and *Journal of*

Not applicable	Not meeting the requirements	Not meeting the requirements unless the default options are changed	Meeting requirements
H5: Abbreviations H7: Version for printing H14: Resizing	H4: Caption H6: Data source H9: Long description	H3: Data axes H10: Safe colors H11: Contrast H12: Legibility	H1: Title H2: Legend H8: Alternative Text H13: Image quality
H16: Receiving focus H17: Independent navigation H18: Customization			

Table 7.
Heuristics applied to
Microsoft Excel

computer-mediated communication, this is not an obstacle to high quality images, which is a similar outcome to that of the publishers who include it in their guidelines. The exception is *MIS quarterly* journal, in which we find a chart that does not meet the indicator and two other charts in which it can be significantly improved.

Despite having evaluated statistical charts of the journals with the greatest impact in the area of library and information science, the results show a considerable number of accessibility problems and several inconsistencies with the editorial policies of the publishers. This observation showcases that even the largest publishers, which are motivated by increasing the quality of their publications and possess a larger budget and a larger editorial team, do not always guarantee quality aspects of their publications, such as accessibility.

The results of the evaluation confirm our initial hypothesis that there is a significant number of accessibility barriers for people with low vision in the charts included in papers of scientific journals beyond those detected in other works published by other authors, making it difficult or impossible for this group to access research results. In comparison with the results collected by [Simon et al. \(2019\)](#), the evaluation carried out has allowed finding a greater number of accessibility problems on the set of statistical charts evaluated. Unlike this other work, in our case, the captions in general have overcome the related heuristic. However, we have also encountered various legibility problems related not only to the font size but also to the font family used, the line height, or the contrast.

Unlike our previous work of evaluation of a set of statistical charts published in digital newspapers ([Alcaraz et al., 2020b](#)), the problem of the lack of text alternatives has not occurred in most of the charts analyzed. However, other problems coincide. In particular, the common problems in both types of publications are a poor non-text contrast ratio, a too small font size, the non-systematization of the use of color palettes appropriate for people with CVD, poor use of indicators to highlight the elements that receive focus –a functionality present only in certain vector charts–, or the inaccessibility through a keyboard interface.

It is difficult to compare these results with the related work, because there are no other similar evaluations apart from the one by [Simon et al. \(2019\)](#) and those made by our group.

Finally, Microsoft Excel, a very widespread tool in creating charts, offers default options that do not help authors in creating accessible charts. Significant changes need to be implemented to reach a high degree of accessibility, but simple improvements in color palettes and legibility would clearly improve the results.

Conclusions

From the point of view of publishers, accessibility is important for three reasons. First and foremost, to reach more readers making library and information science journals accessible to researchers with disabilities; second and equally important, to fulfill the accessibility regulations of many countries affecting public administration purchase policies ([European Union, 2019](#)). Finally, regarding brand image, accessibility helps comply with corporate social responsibility.

To help improve the accessibility of the statistical charts included in academic journals, publishers could do the following, amongst other actions:

- (1) Include a clear and complete policy on accessibility based on WCAG 2.1 for authors to adhere to when preparing their papers for publication and to guide their staff in producing accessible documents. This policy must include specific requirements so that the statistical charts included in the papers are accessible. The heuristics proposed in this research are a good starting point to generate these guidelines.
- (2) Encourage authors to use authoring tools that conform to accessibility standards and help in producing accessible charts, fostering the use of vector charts.

- (3) Comply with accessibility requirements for HTML version of the papers and adopt the accessible PDF/UA-compliant file format for the downloadable content.

This work showed the first stage of statistical charts accessibility evaluation, through a set of heuristic indicators, currently the researchers are working on a second stage, including users on the evaluation, as they are key to the final validation (Power *et al.*, 2012, Lechner *et al.*, 2013).

The results of our research show that there is still a long way to go to achieve full accessibility of graphical content in academic journals, especially for people with low vision. This work contributes to solving this problem in two ways. First, our evaluation serves to get an idea of the current situation and show the main existing accessibility problems. Second, the proposed heuristics are also useful as a guide for creating accessible charts that could be easily incorporated into the style guides of any journal.

References

- Agarwal, S. and 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)*, San Francisco, CA, American Medical Information Association, San Francisco, pp. 6-10.
- Alcaraz Martínez, R., Ribera Turró, M. and Granollers, T. (2020a), "La accesibilidad de los gráficos estadísticos para personas con baja visión y visión cromática deficiente: revisión del estado del arte y perspectivas", *Interacción: Revista digital de AIPO*, No. 1, pp. 59-75.
- Alcaraz Martínez, R., Ribera Turró, M., Granollers, T. and Pascual, A. (2020b), "Son accesibles los gráficos estadísticos para personas con baja visión en la prensa digital?: una propuesta metodológica basada en indicadores heurísticos", *El Profesional de la Información*, Vol. 29 No. 5, doi: [10.3145/epi.2020.sep.15](https://doi.org/10.3145/epi.2020.sep.15).
- Alcaraz Martínez, R., Ribera Turró, M. and Granollers, T. (2021), "Methodology for heuristic evaluation of the accessibility of statistical charts for people with low vision and color vision deficiency", *Universal Access in the Information Society*, (in press).
- Allan, J., Kirkpatrick, A. and Henry, S.L. (2019), "Accessibility requirements for people with low vision", Editor's Draft. W3C, *W3C World Wide Web Consortium*, available at: <https://w3c.github.io/low-vision-a11y-tf/requirements.html>.
- Alty, J.L. and Rigas, D. (2005), "Exploring the use of structured musical stimuli to communicate simple diagrams: the role of context", *International Journal of Human-Computer Studies*, Vol. 62 No. 1, pp. 21-40.
- Bernard, M., Liao, C. and Mills, M. (2001), "The effects of font type and size on the legibility and reading time of online text by older adults", *Proceedings of the ACM/SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI2001)*, pp. 175-176.
- Blackmore-Wright, S., Georgeson, M. and Anderson, S. (2013), "Enhanced text spacing improves reading performance in individuals with macular disease", *PLoS One*, Vol. 8 No. 11, doi: [10.1371/journal.pone.0080325](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080325).
- Bourne, R., 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. and 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*, Vol. 5 No. 9, pp. 888-897, available at: <https://www.thelancet.com/action/showPdf?pii=S2214-109X%2817%2930293-0>.
- Braille Authority of North America (2012), "Guidelines and standards for tactile graphics", available at: <http://brailleauthority.org/tg/web-manual> (accessed 26 May 2020).
- Brown, L.M. and 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, available at: <http://icad.org/Proceedings/2003/BrownBrewster2003a.pdf>.

-
- Cairo, A. (2017), "Visualización de datos: una imagen puede valer más que mil números, pero no siempre más que mil palabras", *El Profesional de la Información*, Vol. 26 No. 6, pp. 1025-1028, doi: [10.3145/epi.2017.nov.02](https://doi.org/10.3145/epi.2017.nov.02).
- Calabrese, A., Bernard, J., Hoffart, L., Faure, G., Barouch, F., Conrath, J. and Castet, E. (2010), "Small effect of interline spacing on maximal reading speed in low-vision patients with central field loss irrespective of scotoma size", *Visual Psychophysics and Physiological Optics*, Vol. 51 No. 2, pp. 1247-1254.
- Chester, D. and 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.
- Cohen, W.W., Wang, R. and 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.
- Cohen, R.F., Yu, R., Meacham, A. and 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.
- Corio, M. and Lapalme, G. (1999), "Generation of texts for information graphics", *Proceedings of the 7th European Workshop on Natural Language Generation EWNLG'99*, pp. 49-58.
- De, P. (2018), "Automatic data extraction from 2D and 3D pie chart images", *Proceedings of the 8th International Advance Computing Conference, IACC 2018*, pp. 20-25.
- Diagram Center (2015). "Image description guidelines", available at: <http://diagramcenter.org/table-of-contents-2.html> (accessed 17 May 2020).
- Doush, I.A., Pontelli, E., Simon, D., Cao, S.T. and Ma, O. (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, pp. 147-154.
- Elzer, S., Carberry, S., Chester, D., Demir, S., Green, N., Zukerman, I. and 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. and 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.
- ETSI (2018), "ETSI EN 301 549 accessibility requirements for ICT products and services", *European Telecommunications Standards Institute*, available at: https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/301500_301599/301549/02.01.02_60/en_301549v020102p.pdf (accessed 17 May 2020).
- European Union (2019), "Directive (EU) 2019/882 of the European parliament and of the council of 17 April 2019 on the accessibility requirements for products and services", available at: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2019/882/oj> (accessed 26 May 2020).
- Evergreen, S. (2020), "Rate my visualization", in *Evergreendata: Intentional Reporting and Data Visualization*, available at: <http://stephanieevergreen.com/rate-your-visualization/>.
- Evergreen, S. and Emery, A. (2018), *Presenting Data Effectively: Communicating Your Findings for Maximum Impact*, SAGE, Thousand Oaks, CA.
- Evergreen, S. and Metzner, C. (2013), "Design principles for data visualization in evaluation", in Azzam, T. and Evergreen, S. (Eds), *Data Visualization*, Part 2. New Directions for Evaluation, No. 140, pp. 5-20.
- Evreinova, T.G., Raisamo, R. and Vesterinen, L. (2008), "Non-visual interaction with graphs assisted with directional-predictive sounds and vibrations: a comparative study", *Universal Access in the Information Society*, Vol. 7 Nos 1-2, pp. 93-102, doi: [10.1007/s10209-007-0105-9](https://doi.org/10.1007/s10209-007-0105-9).
- Ferres, L., Lindgaard, G., Sumegi, L. and Tsuji, B. (2010), "Evaluating a tool for improving accessibility to charts and graphs", *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, Vol. 20 No. 5, pp. 1-32.

-
- Franklin, K.M. and Roberts, J.C. (2003), "Pie chart sonification", *Proceedings on Seventh International Conference on Information Visualization*, IEEE, Los Alamitos, CA, pp. 4-9, doi: [10.1109/IV.2003.1217949](https://doi.org/10.1109/IV.2003.1217949).
- Franzblau, L.E. and Chung, K.C. (2012), "Graphs, tables, and figures in scientific publications: the good, the bad, and how not to be the latter", *The Journal of Hand Surgery*, Vol. 37 No. 3, pp. 591-596, doi: [10.1016/j.jhsa.2011.12.041](https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2011.12.041).
- Fritz, J.P. and Barner, K.E. (1999), "Design of a haptic data visualization system for people with visual impairments", *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, Vol. 7, No. 3, pp. 372-384.
- Gao, J., Zhou, Y. and Barner, K.E. (2012a), "VIEW: visual information extraction widget for improving chart images accessibility", *19th IEEE International Conference on Image Processing Image Processing (ICIP)*, pp. 2865-2868.
- Gao, J., Zhou, Y. and Barner, K. (2012b). "Making information graphics accessible for visually impaired individuals", available at: <https://pdfs.semanticscholar.org/61cd/ae1d985cb9fa08600220eb94523b470813da.pdf> (accessed 17 May 2020).
- Gardner, J., Bulatov, V. and Kelly, R. (2009), *Making Journals Accessible to the Visually Impaired: The Future Is Near*, Vol. 22, No. 4, Learned Publishing, pp. 314-319, doi: [10.1087/20090408](https://doi.org/10.1087/20090408).
- Gies, T. (2018), "The science direct accessibility journey: a case study", *Learned Publishing*, Vol. 31 No. 1, pp. 69-76, doi: [10.1002/leap.1142](https://doi.org/10.1002/leap.1142).
- Goncu, C., Marriott, K. and Hurst, J. (2010), "Usability of accessible bar charts", *International Conference on Theory and Application of Diagrams, Diagrammatic Representation and Inference*, pp. 176-181.
- González, M., Pascual, A. and Lorés, J. (2001), "Evaluación heurística", in *Introducción a la interacción persona-ordenador*, AIPO, Asociación Interacción Persona-Ordenador, available at: <https://aipoes/libro/pdf/15-Evaluacion-Heuristica.pdf> (accessed 7 January 2021).
- Greenbacker, C.F., Wu, P., Carberry, S., McCoy, K.F., Elzer, S., McDonald, D.D., Chester, D. and 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*, pp. 52-62.
- Hermawati, S. and Lawson, G. (2015), "A user-centric methodology to establish usability heuristics for specific domains", *Proceedings of the International Conference on Ergonomics and Human Factors*, pp. 80-85, doi: [10.1201/b18293](https://doi.org/10.1201/b18293).
- Iglesias, R., Casado, S., Gutierrez, T., Barbero, J.L., Avizzano, C.A., Marcheschi, S. and 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](https://doi.org/10.1109/HAVE.2004.1391874).
- Ina, S. (1996), "Computer graphics for the blind", *ACM SIGCAPH Computers and the Physically Handicapped*, Vol. 5, pp. 16-23.
- Jiménez, C., Allende-Cid, H. and Figueroa, I. (2017), "PROMETHEUS: procedural methodology for developing heuristics of usability", *IEEE Latin America Transactions*, Vol. 15 No. 3, pp. 541-549, doi: [10.1109/TLA.2017.7867606](https://doi.org/10.1109/TLA.2017.7867606).
- Johnson, G.I., Clegg, C.W. and Ravden, S.J. (1989), "Towards a practical method for user interface evaluation", *Applied Ergonomics*, Vol. 20 No. 4, pp. 255-260.
- Kallimani, J.S., Srinivasa, K.G. and 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.
- Kitchel, J.E. (2019), "APH guidelines for print document design", available at: <https://www.aph.org/aph-guidelines-for-print-document-design> (accessed 17 May 2020).

-
- Ladner, R.E., Ivory, M.Y., Rao, R.P.N. and Burgstahler, S. (2005), "Automating tactile graphics translation", *Assets '05 Proceedings of the 7th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, ACM, New York, NY, pp. 150-157.
- Lechner, B., Fruhling, A., Petter, S. and Siy, H. (2013), "The chicken and the pig: user involvement in developing usability heuristics", *Proceedings of the Nineteenth Americas Conference on Information Systems*.
- Lundgard, A., Lee, C. and Satyanarayan, A. (2019), "Sociotechnical considerations for accessible visualization design", *2019 IEEE Visualization Conference (VIS)*, pp. 16-20, available at: <https://doi-org/10.1109/VISUAL.2019.8933762>.
- McCarthyNeville, C. and Koivunen, M.R. (2012). "Accessibility features of SVG", available at: www.w3.org/TR/SVG-access (accessed 17 May 2020).
- McGookin, D.K. and 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. and Pettit, M. (2019). "Introducing the data visualization society", *Medium*, available at: <https://medium.com/datavisualization-society/introducing-the-data-visualization-society-d13d42ab0bec> (accessed 7 January 2021).
- Miele, J.A. and Marston, J. (2005), "Tactile map automated production (TMAP): project update and research summary", *CSUN International Technology and Persons with Disabilities Conference*, pp. 14-19.
- Moreno, L., Valencia, X., Pérez, J. and Arrue, M. (2020), "An exploratory study of web adaptation techniques for people with low vision", *Universal Access in the Information Society*. doi: [10.1007/s10209-020-00727-6](https://doi.org/10.1007/s10209-020-00727-6), available at: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10209-020-00727-6>.
- Nazemi, A. and Murray, I. (2013), "A method to provide accessibility for visual components to vision impaired", *International Journal of Human Computer Interaction*, Vol. 4 No. 1, pp. 54-69.
- Nganjji, J.T. (2015), "The Portable Document Format (PDF) accessibility practice of four journal publishers", *Library and Information Science Research*, Vol. 37 No. 3, pp. 254-262, doi: [10.1016/j.lisr.2015.02.002](https://doi.org/10.1016/j.lisr.2015.02.002).
- Nielsen, J. (2002), "Let users control font size", *Nielsen Norman Group. Blog*, available at: <https://www.nngroup.com/articles/let-users-control-font-size/> (accessed 17 May 2020).
- Nielsen, J. and Molich, R. (1990), "Heuristic evaluation of user interfaces", *CHI '90: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 249-256, available at: <https://doi-org/10.1145/97243.97281>.
- Oduntan, A.O. (2005), "Prevalence and causes of low vision and blindness worldwide", *South African optometrist*, Vol. 64 No. 2, pp. 44-54, doi: [10.4102/aveh.v64i2.214](https://doi.org/10.4102/aveh.v64i2.214).
- Power, C., Freire, A., Petrie, H. and Swallow, D. (2012), "Guidelines are only half of the story: accessibility problems encountered by blind users on the web", *Conference on Human Factors in CHI'12: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 433-442, doi: [10.1145/2207676.2207736](https://doi.org/10.1145/2207676.2207736).
- Quiñones, D., Rusu, C. and Rusu, V. (2018), "A methodology to develop usability/user experience heuristics", *Computer Standards and Interfaces*, Vol. 59, pp. 109-129, doi: [10.1016/j.csi.2018.03.002](https://doi.org/10.1016/j.csi.2018.03.002).
- Roth, P., Kamel, H., Petrucci, L.S. and Pun, T. (2002), "A comparison of three nonvisual methods for presenting scientific graphs", *Journal of Visual Impairment and Blindness*, Vol. 96 No. 6, pp. 420-428, available at: <https://archiveouverte.unige.ch/unige:47498>.
- Russell-Minda, R., Jutai, J., Strong, J., Campbell, K., Gold, D., Pretty, L. and Wilmot, L. (2007), "The legibility of typefaces for readers with low vision: a research review", *Journal of Visual Impairment and Blindness*, Vol. 101 No. 7, pp. 402-415, doi: [10.1177/0145482X0710100703](https://doi.org/10.1177/0145482X0710100703).
- Rusu, C., RoncaglioloRusu, S.V. and Collazos, C. (2011), "A methodology to establish usability heuristics", *Proceedings of the Fourth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions, ACHI2011*, pp. 59-62.

- Sanjines, S. (2018), "Does it make a difference? Data visualizations and the use of research and evaluation reports, PhD thesis, University of Hawai'i, Manoa, available at: <https://scholarspace.manoa.hawaii.edu/bitstream/10125/62374/2018-05-phd-sanjines.pdf>.
- Sathi, V. and Sadhasivan, S. (2020), "Accessibility and big data analytics on cloud", Preprint, available at: https://www.researchgate.net/publication/347443390_Accessibility_and_Big_Data_Analytics_on_Cloud.
- Shinohara, K. and Wobbrock, J. (2011), "In the shadow of misperception: assistive technology use and social interactions", *CHI'11: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 705-714, doi: [10.1145/1978942.1979044](https://doi.org/10.1145/1978942.1979044).
- Simon, S., Becker, B., Hamouda, S., McCartney, R., Sanders, K. and Sheard, J. (2019), "Visual portrayals of data and results at ITiCSE", *ITiCSE'19. Proceedings of the 2019 ACM Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education*, pp. 51-57, doi: [10.1145/3304221.3319742](https://doi.org/10.1145/3304221.3319742).
- Snaprud, M. and Velazquez, A. (2020), "Accessibility of data visualizations: an overview of European statistics institutes", in Engebretsen, M. and Kennedy, H. (Eds), *Data Visualization in Society*, Amsterdam University Press, Amsterdam, pp. 111-126, doi: [10.5117/9789463722902_ch07](https://doi.org/10.5117/9789463722902_ch07).
- Sorge, V. (2020), "Multimodal STEM documents", *2020 DIAGRAM center report*, available at: <http://diagramcenter.org/diagram-reports/diagram-2020-report/multimodal-stem-documents.html> (accessed 7 January 2021).
- Sorge, V., Bansal, A., Jadhav, N., Garg, H. and Verma, A. (2020), "Towards generating web-accessible STEM documents from PDF", *W4A'20: Proceedings of the 17th International Web for All Conference*, pp. 1-5, doi: [10.1145/3371300.3383351](https://doi.org/10.1145/3371300.3383351).
- Splendiani, B. (2015), "A proposal for the inclusion of accessibility criteria in the authoring workflow of images for scientific articles", PhD thesis, University of Barcelona, Barcelona, available at: <http://hdl.handle.net/10803/38624> (accessed 19 May 2020).
- Splendiani, B. and Ribera, M. (2014), "Accessible images in computer science journals", *Procedia Computer Science*, Vol. 27, pp. 9-18, doi: [10.1016/j.procs.2014.02.003](https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.02.003).
- Splendiani, B., Ribera, M. and Centelles, M. (2014), "Are figures accessible in mathematics academic journals?", in *29th Annual International Technology and Persons with Disabilities Conference*, San Diego, CA, March 17 to March 22, available at: <http://hdl.handle.net/2445/54814> (accessed 19 May 2020).
- Szpiro, S., Hashash, S., Zhao, Y. and Azenkot, S. (2016), "How people with low vision access computing devices: understanding challenges and opportunities", *ASSETS'16 Proceedings of the 18th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, pp. 171-180, doi: [10.1145/2982142.2982168](https://doi.org/10.1145/2982142.2982168).
- Treviranus, J., Mitchell, J. and Clark, C. (2018), "Sonification, floe: the inclusive learning design handbook", available at: <https://handbook.floeproject.org/Sonification.html> (accessed 26 May 2020).
- Van Achterberg, M. (2019), "Designing and coding for low vision", *Technical11y: Discussing Challenges in Technical Accessibility*, available at: <https://www.technical11y.org/designing-and-coding-for-low-vision> (accessed 8 January 2021).
- Van-Greunen, D., Yeratziotis, A. and Pottas, D. (2011), "A three-phase process to develop heuristics", *Proceedings of the 13th Annual Conference on World Wide Web Applications*, Johannesburg, pp. 5-23.
- W3C (2018), "Web content accessibility guidelines (WCAG) 2.1", available at: <https://www.w3.org/TR/WCAG21> (accessed 19 May 2020).
- Walker, B.N. and 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, available at: http://sonify.psych.gatech.edu/ags2005/pdf/AGS05_WalkerNees.pdf.

-
- Wall, S.A. and 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*, pp. 9-18.
- Watanabe, T., Toshimitsu, Y., Koda and 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*, Springer, London, pp. 42-49.
- WebAIM (2018), "Survey of users with low vision #2 results", available at: <https://webaim.org/projects/lowvisionsurvey2/> (accessed 18 May 2020).
- Yu, W. and Brewster, S. (2003), "Evaluation of multimodal graphs for blind people", *Universal Access in the Information Society*, Vol. 2 No. 2, pp. 105-124, doi: [10.1007/s10209-002-0042-6](https://doi.org/10.1007/s10209-002-0042-6).
- Yu, W., Ramloll, R. and Brewster, S. (2000), "Haptic graphs for blind computer users", *Workshop on Haptic HCI*, pp. 41-51.
- Yu, H., Agarwal, S., Johnston, M. and Cohen, A. (2009), "Are figure legends sufficient? Evaluating the contribution of associated text to biomedical figure comprehension", *Journal of Biomedical Discovery and Collaboration*, Vol. 4 No. 1, doi: [10.1186/1747-5333-4-1](https://doi.org/10.1186/1747-5333-4-1).

Appendix 1

- Chart 1: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.09.015>
Chart 2: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.11.003>
Chart 3: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.11.015>
Chart 4: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2019.01.005>
Chart 5: <https://doi.org/10.1016/j.ijinfogt.2019.01.006>
Chart 6: <https://doi.org/10.1093/jcmc/zmz007>
Chart 7: <https://doi.org/10.1093/jcmc/zmz007>
Chart 11: <https://doi.org/10.1108/JKM-05-2018-0288>
Chart 12: <http://dx.doi.org/10.1108/JKM-11-2017-0554>
Chart 13: <http://dx.doi.org/10.1108/JKM-03-2018-0223>
Chart 14: <http://dx.doi.org/10.1108/JKM-02-2018-0088>
Chart 15: <http://dx.doi.org/10.1108/JKM-05-2018-0277>
Chart 16: <https://doi.org/10.25300/MISQ/2019/14812>
Chart 17: <https://doi.org/10.25300/MISQ/2019/14289>
Chart 18: <https://doi.org/10.25300/MISQ/2019/14530>
Chart 19: <https://doi.org/10.25300/MISQ/2019/14750>
Chart 20: <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2018.12.003>
Chart 21: <https://doi.org/10.1016/j.giq.2018.11.002>
Chart 22: <https://doi.org/10.1016/j.giq.2018.08.001>
Chart 23: <https://doi.org/10.1016/j.giq.2019.05.006>
Chart 24: <https://doi.org/10.1016/j.giq.2019.03.003>
Chart 25: <https://doi.org/10.1016/j.giq.2019.07.002>
Chart 26: <https://doi.org/10.1093/jamia/ocy129>
Chart 27: <https://doi.org/10.1093/jamia/ocy145>
Chart 28: <https://doi.org/10.1093/jamia/ocy160>
Chart 29: <https://doi.org/10.1093/jamia/ocy183>
Chart 30: <https://doi.org/10.1093/jamia/ocz032>
Chart 31: <https://doi.org/10.1016/j.im.2018.07.002>
Chart 32: <https://doi.org/10.1016/j.im.2018.05.004>
Chart 33: <https://doi.org/10.1016/j.im.2018.08.003>
Chart 34: <https://doi.org/10.1016/j.im.2018.10.001>
Chart 35: <https://doi.org/10.1016/j.im.2018.11.002>
Chart 36: <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2018.09.002>
Chart 37: <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2018.12.003>
Chart 38: <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2018.12.001>
Chart 39: <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2018.07.002>

Chart 40: <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2019.101577>
Chart 41: <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2018.10.010>
Chart 42: <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2018.07.006>
Chart 43: <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2018.12.007>
Chart 44: <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2019.03.002>
Chart 45: <https://doi.org/10.1016/j.ipm.2019.04.001>
Chart 46: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2019.01.010>
Chart 47: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2019.03.014>
Chart 48: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2019.07.003>
Chart 49: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2019.07.003>
Chart 50: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2019.100976>

Appendix 2

- 1.1.1. Non-text content (A)
- 1.3.3. Sensory characteristics (A)
- 1.4.1. Use of color (A)
- 1.4.3. Contrast (minimum) (A)
- 1.4.4. Resize text (AA)
- 1.4.5. Images of text (AA)
 - 1.4.11. Non-text contrast (AA)
 - 1.4.12. Text spacing (AA)
- 2.1.1. Keyboard (A)
- 2.1.2. No keyboard trap (A)
- 2.4.3. Focus order (A)
- 2.4.6. Headings and labels (AA)
- 2.4.7. Focus visible (AA)
- 2.5.1. Pointer gestures (A)

Corresponding author

Rubén Alcaraz Martínez can be contacted at: ralcaraz@ub.edu

For instructions on how to order reprints of this article, please visit our website:

www.emeraldgrouppublishing.com/licensing/reprints.htm

Or contact us for further details: permissions@emeraldinsight.com

Directrices para la creación de gráficos estadísticos accesibles para personas con baja visión

Accessible statistical charts guidelines for people with low vision

Rubén Alcaraz Martínez, Mireia Ribera Turró

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

Toni Granollers i Saltiveri

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

Resumen — La baja visión es la discapacidad visual con mayor prevalencia a nivel mundial con más de 1.200 millones de personas que presentan algunos de sus síntomas. No obstante, las necesidades de este colectivo no se han tenido en cuenta en diferentes ámbitos en los que no se han desarrollado directrices específicas para atender las necesidades de estos usuarios. Uno de estos ámbitos es el diseño y creación de gráficos estadísticos, centrado hasta el momento en las personas ciegas o con muy poco resto visual. A partir de una revisión de la literatura y de un trabajo previo de desarrollo de un conjunto de heurísticas, este trabajo recoge un conjunto de directrices para la creación de gráficos estadísticos accesibles para personas con baja visión.

Palabras Clave - *gráficos estadísticos; baja visión; visión cromática deficiente; accesibilidad; directrices.*

Abstract — Low vision is the most prevalent visual impairment worldwide with more than 1.2 billion people having some of their symptoms. However, no specific guidelines have been developed to meet the needs of these users in many areas, because their specific needs have not been considered. One of these areas is the design and creation of statistical charts, focused so far on blind people or people with severely limited visual faculties. Based on a review of the literature and a previous work developing of a set of heuristics, this work includes a set of guidelines for the creation of accessible statistical charts for people with low vision.

Keywords - *statistical charts; low vision; color blindness; accessibility; guidelines.*

I. INTRODUCCIÓN

La accesibilidad de los gráficos estadísticos para las personas con discapacidad visual ha despertado un importante interés en la literatura científica. En paralelo, desde la aparición de las WCAG en 1999, se han venido sucediendo diferentes guías y directrices para la creación de recursos digitales accesibles, algunas orientadas específicamente a este tipo de gráficos. No obstante, tanto la literatura, como las guías y recomendaciones publicadas, se han centrado fundamentalmente en las necesidades de las personas ciegas o con un resto visual muy limitado, omitiendo las necesidades y

posibilidades de otros perfiles de discapacidad visual que todavía conservan un resto de visión.

Este trabajo presenta un conjunto de directrices para guiar a los creadores de contenido en la creación de gráficos estadísticos accesibles, especialmente orientadas a las necesidades de las personas con baja visión.

II. BAJA VISIÓN

El término baja visión se utiliza para referirse a una amplia variedad de perfiles que se caracterizan por presentar diferentes niveles de agudeza visual o campo de visión, en algunos casos como consecuencia de enfermedades como la degeneración macular, responsable de la pérdida de visión central, o el glaucoma, que afecta a la visión periférica. Otra casuística asociada a este perfil es la visión cromática deficiente (VCD), causante de la dificultad o imposibilidad para diferenciar colores. Finalmente, también se incluyen a personas con sensibilidad al contraste o a la luz, dos tipos de síntomas que dificultan diferenciar objetos adyacentes con una intensidad lumínica similar. La baja visión se encuentra estrechamente relacionada con la edad. En este sentido, aproximadamente el 80% de las personas con baja visión moderada y grave, el 74% de las personas con baja visión leve y el 61% de la población con presbicia tienen 50 años o más [1]. Este colectivo, debido a su variedad de perfiles, utiliza un amplio abanico de ayudas técnicas (lectores de pantalla, magnificadores específicos, del sistema operativo o del navegador, modos de alto contraste, personalización de colores, tipografía, opciones de zoom del navegador, etc.).

III. TRABAJOS RELACIONADOS

La prevalencia a nivel mundial (algo más de 1200 millones de personas) [2] y el crecimiento del número de personas con baja visión derivado del envejecimiento global de la población [3], son razones suficientes para justificar una mayor atención a la baja visión a nivel académico. La madurez de la disciplina, y la tendencia generalizada de ampliar la accesibilidad a una mayor variedad de perfiles de usuario y disciplinas como la educación STEM [4] son otras razones de peso para su

justificación. Aun así, la realidad es otra, y es difícil localizar literatura científica relacionada con la creación de contenido accesible para este colectivo, especialmente en comparación a otros perfiles de discapacidad. En los últimos años, sí se aprecian acciones importantes a nivel de sensibilización como el trabajo divulgativo de asociaciones españolas como Begisare o, a nivel de pautas, la incorporación de un nuevo criterio de conformidad en las WCAG 2.1 relacionado con la sensibilidad al contraste.

Cuatro referencias son especialmente relevantes para esta investigación: las WCAG [5], los documentos generados por el grupo de trabajo del W3C sobre baja visión [6], las directrices publicadas por el Diagram Center [7] y las elaboradas por Evergreen y Emery [8].

Las WCAG son el texto de referencia en el ámbito de la accesibilidad web. Como se ha avanzado anteriormente, más allá de los diferentes criterios de conformidad aplicables a las personas con baja visión contemplados desde su primera versión (alternativas de texto, uso del color, imágenes de texto, contraste, foco visible...), en su versión 2.1, cuenta con un nuevo criterio de conformidad referido al contraste no textual (*1.4.11 Non-text Contrast*) especialmente relevante para la accesibilidad de los gráficos estadísticos.

Por su parte, el grupo de trabajo sobre baja visión del W3C ha recogido una lista de requisitos genéricos para personas con baja visión que contempla aspectos como el brillo, el color y el contraste entre elementos, así como otras recomendaciones orientadas a mejorar la legibilidad de los documentos. Este conjunto de requisitos pone especial énfasis en la personalización del contenido para atender la diversidad de necesidades y preferencias de este colectivo.

Por su parte, el Diagram Center desarrolló las *Image description guidelines* (2015), unas directrices que incluyen pautas para la creación de gráficos de barras, de líneas, circulares y de dispersión, accesibles. Estas directrices recomiendan incluir título y ejes cuando sea necesario, redactar una descripción textual que identifique el tipo de gráfico e incluir siempre una tabla accesible con los datos que se comunican. Recomendaciones útiles para los perfiles de usuario con baja visión, pero que no tienen en cuenta que muchos de estos usuarios aún conservan y prefieren usar su resto visual [9] que les permite beneficiarse de la capacidad del gráfico para mostrar de manera más eficiente la información [10] con un uso menor de la memoria a corto plazo y una menor carga cognitiva [11].

Finalmente, centrada también en gráficos estadísticos, si bien no tanto en su accesibilidad, como en aspectos más globales y con una clara orientación al mundo del marketing y los negocios, Evergreen y Emery proponen una lista de verificación formada por 24 directrices. Estas contemplan varios requisitos de carácter general que pueden resultar de utilidad para las personas con baja visión, y que se encuentran relacionados con la legibilidad del texto, el buen uso del color o el etiquetado de los ejes, entre otros.

IV. METODOLOGÍA

Las directrices que se presentan en este trabajo son el resultado de diferentes investigaciones previas de los autores.

En primer lugar, se llevó a cabo una revisión de alcance de la literatura publicada [10]. Como resultado de ese estudio, se elaboró una lista de principios heurísticos [12] que se validaron satisfactoriamente en un experimento posterior [13]. A continuación, se muestra una compilación de aspectos relevantes a partir de los cuales se definieron las heurísticas propuestas. Finalmente, se presentan las directrices y para cada una de ellas se proporcionan los objetivos básicos que deben cumplir los autores, así como algunos aspectos verificables para validar su cumplimiento. La presentación de las directrices sigue el modelo de Pereira et al. [14], en su propuesta de directrices para la creación de videojuegos accesibles para personas con coriorretinitis –principal causa de la baja visión en la infancia–. Como este trabajo, su aportación parte de una revisión de la literatura, de la cual extrae pautas genéricas para baja visión y específicas para su dominio que posteriormente se refinan y consolidan, eliminando duplicados.

V. BUENAS PRÁCTICAS

En esta sección se presentan aquellos aspectos relevantes extraídos de la literatura que han servido de base para la creación de las directrices.

A. Título, ejes, leyendas y pies de imagen

El título aporta una breve –entre 6 y 12 palabras– [8] primera aproximación al contenido del gráfico [17] que debe ser suficiente para diferenciarlo del resto de imágenes del documento.

Las leyendas son necesarias cuando se comunican datos mediante colores o esquemas de patrones y texturas. En su defecto, el uso de etiquetas de datos cerca de las marcas que las representan permite simplificar su lectura al evitar el movimiento del ojo entre leyenda y datos [15][16].

En cuanto a los ejes, siempre deben estar visibles y contar con etiquetas breves y descriptivas escritas en horizontal [15][16][17]. Las unidades de medida utilizadas deben incluirse en el título del eje o en las propias etiquetas.

Por su parte, los pies que acompañan al gráfico permiten ofrecer información adicional sobre el mensaje que transmite la visualización que puede ser de gran ayuda para los usuarios [18], especialmente cuando incluye aspectos clave o conclusiones sobre los datos [19][20][21]. Adicionalmente, los pies son un lugar adecuado para incluir la fuente de datos, las abreviaturas y unidades de medida utilizadas, información sobre el copyright o los detalles del análisis estadístico [22].

Proporcionar la fuente de datos dota al gráfico de rigor y credibilidad, permitiendo al usuario acceder al *dataset* original si precisa consultar o descargar los datos en bruto para acceder a ellos a través de algún software específico.

Finalmente, algunos usuarios con baja visión prefieren imprimir el contenido y consultarlo por su mayor ergonomía frente a la consulta en pantalla [6]. Por este motivo, es importante ofrecer una versión optimizada para impresión.

B. Alternativas de texto

Puesto que una parte de las personas con baja visión presentan un resto visual muy limitado, las alternativas de texto suponen un requisito prácticamente tan necesario para ellas,

como lo son para las personas ciegas. Los documentos de referencia del W3C [23] contemplan diferentes tipos de técnicas asociadas al criterio de conformidad "Contenido no textual" según si es necesaria una alternativa textual corta o larga para alcanzarlo.

Mientras que una alternativa textual corta puede ser suficiente para describir el contenido y cumplir el mismo propósito que una fotografía, logo o icono, para las imágenes complejas como los gráficos, el W3C [24] propone utilizarlas para permitir identificarlos rápidamente e indicar, cuando sea preciso, la localización de su descripción larga.

Por su parte, las descripciones largas cumplen la función de ofrecer una alternativa completa y suficiente a la información del gráfico [25], siendo tanto de utilidad para usuarios con discapacidad visual, como para otros perfiles que presenten dificultades para comprenderlos. Este tipo de descripciones se pueden incluir en una página externa específica o a continuación del gráfico, opción esta última preferida por los usuarios de lectores de pantalla [26]. Si bien, como se ha comentado anteriormente, con este tipo de alternativas se pierden los beneficios propios de la visualización, algunos autores [27][28] defienden el papel complementario que juegan en la comprensión del mensaje que el gráfico pretende transmitir. A pesar de no ofrecer directrices específicas para su redacción, en sus ejemplos, el W3C [24] siempre incluye una tabla con los datos que muestra el gráfico, en la línea de las directrices del Diagram Center [7].

C. Color y contraste

El buen uso del color es un elemento con una importancia capital en el diseño de gráficos estadísticos. Si bien las WCAG recomiendan no utilizar el color como único medio para transmitir información, esto no lo inhabilita para cumplir esta tarea de manera eficiente entre aquellos usuarios que aún conservan algún resto visual. En este sentido, varios trabajos han mostrado el potencial del color como atributo para diferenciar variables cualitativas [29][30]. No obstante, su uso implica la necesidad de prestar atención a las personas con VCD y sensibilidad al contraste. Orientado a las primeras, Olson y Brewer [31][32] han ahondado en la selección de esquemas de colores seguros para personas con VCD. Estas combinaciones, a pesar de haberse adoptado ampliamente entre diversas herramientas y lenguajes de visualización como Tableau o D3, no cumplen con los requisitos de contraste establecidos por el W3C, más exigentes y centrados en la diferencia de luminancia. Por su parte, los requisitos de contraste entre texto y fondo (ratio mínima de 4.5:1) y elementos adyacentes no textuales (ratio mínima de 3:1) se recogen en las WCAG.

D. Legibilidad

La literatura científica ha mostrado interés en averiguar las características que favorecen la legibilidad de los textos, tanto para el público en general, como para los usuarios con baja visión, si bien no existen trabajos que aborden esta cuestión específicamente en relación con los gráficos estadísticos.

Entre las características de los textos que afectan directamente a su legibilidad, encontramos: el tipo y familia de fuente tipográfica, su tamaño (cuerpo), su estilo y elementos

decorativos, la alineación de los párrafos, el interlineado y el espacio entre párrafos, palabras y letras.

No existe un consenso sobre cuál el tipo de fuente y familia más adecuada para los usuarios con baja visión, si bien tanto la literatura publicada [33], como los usuarios con baja visión [34], muestran preferencia por las fuentes sin serifa. Otro aspecto relevante respecto a la selección de la familia tipográfica es que exista una diferencia significativa entre ciertos caracteres numéricos y letras que en algunos casos son muy similares como, por ejemplo, entre el uno, la letra ele y la letra i mayúscula (1, l e I). También que el cuerpo sea ancho y existan grandes blancos internos y ojales (espacios en blanco en el interior de ciertas letras como la a, b, d, g o p). Entre las fuentes sin serifa, la literatura destaca el uso de fuentes como la Verdana, Arial, Helvética o Courier, además de existir algunas alternativas pensadas específicamente para las personas con baja visión como la APHont, la Eido o la Tiresias, pero sin un rendimiento superior demostrado [35][36].

Respecto al tamaño de la fuente, aunque este puede ser ajustado tanto con las opciones propias del navegador, como con los magnificadores de pantalla, conviene utilizar un tamaño de texto inicial suficiente. En este sentido, la American Printing House for the Blind [37] recomienda no bajar de los 12pt, equivalentes a los 16px considerados como un estándar para la lectura en pantalla por autores en el ámbito de la usabilidad [38]. Finalmente, en cuanto a estilo, no se debe abusar de las cursivas, versales o mayúsculas, pues dificultan la legibilidad del documento [6].

La alineación a la izquierda asegura un ritmo de lectura constante y una mejor legibilidad [39], frente a la justificación que fuerza el espacio entre palabras y genera los denominados "ríos" que implican una mayor dificultad de lectura [6]. Diversos autores han destacado la necesidad de utilizar un espacio suficiente entre letras, palabras y líneas [40][41], especialmente cuando el lector presenta pérdidas de visión central [42]. No obstante, la realidad es que, si bien los usuarios acostumbran a modificar el tamaño de la fuente mediante ayudas técnicas o del navegador, pocos personalizan estas otras características [34].

Precisamente, ajustar el nivel de zoom es un requisito fundamental para asegurar la accesibilidad para las personas con baja visión [6]. Las WCAG contemplan la necesidad de poder redimensionar el texto hasta un 200%. Un requisito que no aplica a las imágenes de texto, no por irrelevante, sino porque, de partida, se desaconseja su uso. Aun así, en el caso de los gráficos estadísticos, presentados con frecuencia como imágenes en formato de mapa de bits, es necesario verificar que se puedan ampliar hasta un 200% sin perder calidad.

El estudio de Legge [43], muestra un mejor rendimiento en la lectura para las personas con visión borrosa cuando se utilizan interfaces con polaridad negativa (caracteres claros sobre fondo oscuro). No obstante, el trabajo de Piepenbrock [44] con personas con visión normal, muestra un mejor rendimiento para la polaridad positiva. Poder alternar entre uno y otro modo –personalización– supone una importante ayuda para aquellos usuarios que lo precisen en aras de una mejor legibilidad.

E. Formatos de archivo

Los formatos de mapa de bits son los más utilizados para la creación de gráficos estadísticos, generalmente como resultado de la exportación de los gráficos generados con herramientas ofimáticas o de diseño gráfico. El uso de este tipo de imágenes conlleva que ejes, etiquetas y leyendas se ofrecerán, en la mayoría de los casos, como parte de una imagen de texto. Esta práctica implica la imposibilidad de acceder al texto a través de un sintetizador de voz, o de personalizar sus características, limitándose el acceso a esta información a partir de las alternativas de texto que puedan ofrecer sus autores mediante el atributo *alt* o las diferentes técnicas para proporcionar descripciones largas [45].

Al utilizar este tipo de imágenes deben cuidarse ciertos aspectos que determinan su calidad final [22]. En este sentido, se recomienda el uso de imágenes PNG porque permite la compresión sin pérdida y sin generar artefactos en grandes áreas de color uniforme y texto. Las dimensiones horizontales y verticales de la imagen deben ser suficientes para soportar ampliaciones sin pixelarse. Su resolución debería oscilar entre 150 y 300 dpi según la complejidad del gráfico, los elementos que se muestran en él y el medio a través del cual se va a distribuir (pantalla o impreso). Finalmente, la profundidad de bits recomendada es de entre 24 y 32 bits según si es necesario o no utilizar un canal para la transparencia.

Frente a las limitaciones propias de los formatos de mapa de bits, las imágenes en formato SVG ofrecen todo un conjunto de características que las hacen, de partida, más accesibles que las imágenes ráster. Una completa integración con el DOM y la posibilidad de acceder a cada uno de los elementos que conforman la imagen en vistas a personalizarlos, su compatibilidad con ayudas técnicas como lectores de pantalla [46]; la posibilidad de describir pormenorizadamente sus elementos mediante roles y atributos WAI-ARIA [47][48]; identificar y describir las relaciones entre los elementos que forman la imagen [46]; la posibilidad de ampliarlas todo lo que se precise sin perder calidad de imagen [49], o el hecho de utilizar texto real, en lugar de imágenes de texto, son sus principales ventajas.

F. Interacción y navegación

De acuerdo con la encuesta conducida por WebAIM [34], el 60,4% de los usuarios con baja visión utiliza siempre o con frecuencia un teclado para navegar por la página web. Una cifra ciertamente elevada de usuarios que dependen de la accesibilidad del teclado y que obliga a prestar atención a un requisito que, además, también beneficia a las personas ciegas, o con ciertas discapacidades motrices. Poder acceder a los diferentes componentes y marcas de la imagen a través de una interfaz de teclado, ratón o táctil implica el uso de estándares web en la creación del gráfico.

Estrechamente relacionado con el requisito anterior, la visibilidad del foco ayuda a los usuarios con baja visión a identificar rápidamente cuál es el elemento activo [6].

VI. DIRECTRICES

- D01 Proporcione un título breve y descriptivo.**
Un título breve –entre 6 y 12 palabras– debe permitir identificar y diferenciar el gráfico del resto de imágenes en el documento, permitiendo navegar entre ellos cuando se incluyen varios.
- D02 Proporcione un texto alternativo breve**
El texto alternativo informa brevemente sobre el contenido del gráfico y ayuda a los usuarios a determinar si desean obtener más información.
- D03 Proporcione un pie que contribuya a facilitar la compresión de la información que se comunica**
El pie contribuye a facilitar la compresión de la información que se comunica proporcionando información adicional al título, detalles del análisis estadístico o conclusiones sobre los datos.
- D04 Proporcione una descripción larga**
El gráfico debe contar y estar estructuralmente asociado con una descripción textual larga que ofrezca una alternativa equivalente a su contenido (valores, relaciones, tendencias, etc.). Los valores se proporcionan mediante una tabla de datos.
- D05 Proporcione la fuente de datos**
Dentro o cerca del pie, se proporciona información acerca de la fuente de datos (nombre de la institución y *dataset*, año y enlace a la fuente original).
- D06 Proporcione etiquetas breves y descriptivas para los ejes**
Los ejes del gráfico deben ser visibles y sus etiquetas adecuadas, concisas y claras.
- D07 Utilice leyendas para explicar la codificación utilizada en el gráfico**
Los esquemas de color, patrones o formas utilizados deben poderse decodificar en una leyenda. Alternativamente, utiliza etiquetas de datos cerca de las marcas que las representan.
- D08 Desarrolle todas las abreviaturas utilizadas**
Las abreviaturas deben desarrollarse utilizando un método estándar respaldado por las ayudas técnicas.
- D09 Utilice una fuente tipográfica adecuada**
Se prioriza el uso de fuentes tipográficas sin serifa (APHfont, Tiresias, Verdana, Helvética...), con un cuerpo no condensado, letras y números fáciles de distinguir y con blancos internos y ojales grandes.
- D10 Utilice un tamaño de fuente suficiente**
Siempre que sea posible, evita bajar de los 16px en pantalla y los 12pt en la versión para impresión.

D11 Proporciona un interlineado y espacios entre letras y palabras adecuado.

Algunas personas precisan de un mayor espacio entre líneas, letras y palabras para leer textos.

D12 Utiliza texto real y no imágenes de texto

Siempre que sea posible, opta por utilizar texto real, en lugar de imágenes de texto. Si se opta por crear el gráfico en un formato de imagen de mapa de bits, por lo menos utiliza texto para el título, pie y leyenda. Sigue la directriz D13 al crear la imagen en formato de mapa de bits.

D13 Utiliza imágenes con una suficiente calidad

Con el fin de soportar redimensionados de hasta un 200% sin pixelarse, usa preferentemente imágenes vectoriales y basadas en estándares web (SVG, Canvas). Si usas imágenes en formato de mapa de bits, utiliza preferentemente el formato PNG con una resolución de entre 150-300 dpi, y una profundidad de bits de entre 24 y 32 bits.

D14 Permite navegar y seleccionar entre elementos con el ratón, teclado y gestos táctiles

Se debe poder navegar entre los diferentes elementos que forman el gráfico (título, ejes, marcas, etc.) con independencia de la interfaz utilizada. Si se utilizan imágenes en formato de mapa de bits, utiliza texto real en todos aquellos elementos que sea posible.

D15 Muestra visualmente qué elemento tiene el foco

En los gráficos creados mediante tecnologías como SVG, JavaScript o Canvas, cuando un elemento recibe el foco del ratón, teclado o gesto táctil es destacado visualmente.

D16 Evita superponer elementos sobre el gráfico que dificulten su lectura

Se debe evitar superponer marcas de agua, de autoría, banners publicitarios u otros elementos que puedan dificultar o imposibilitar la lectura del gráfico.

D17 Permite redimensionar el gráfico y todos sus elementos

El texto, formas y figuras, así como las imágenes de texto, deben poder ser redimensionadas hasta un 200% sin la necesidad de utilizar ayudas técnicas específicas, más allá de las opciones del navegador.

D18 Utiliza colores seguros, patrones o texturas

Los colores utilizados para transmitir información deben poder distinguirse incluso por personas con VCD. Alternativamente, las marcas (barras, líneas, puntos...) se diferencian mediante patrones o texturas.

D19 Utiliza colores con un contraste suficiente con el fondo y otros elementos adyacentes

Se debe garantizar una ratio de contraste mínima entre texto y fondo de 4.5:1, y una ratio mínima de 3:1 entre elementos no textuales adyacentes.

D20 Asegura que es posible personalizar las características del gráfico

El texto (fuente, tamaño, color...), los colores utilizados en las marcas, el interlineado y el resto de los elementos del gráfico deben poder personalizarse.

D21 Asegura que la versión para impresión se encuentra optimizada

Ofrece una versión para impresión optimizada para aquellos usuarios que prefieran imprimir el gráfico.

Evolución del porcentaje de usuarios de JAWS y NVDA

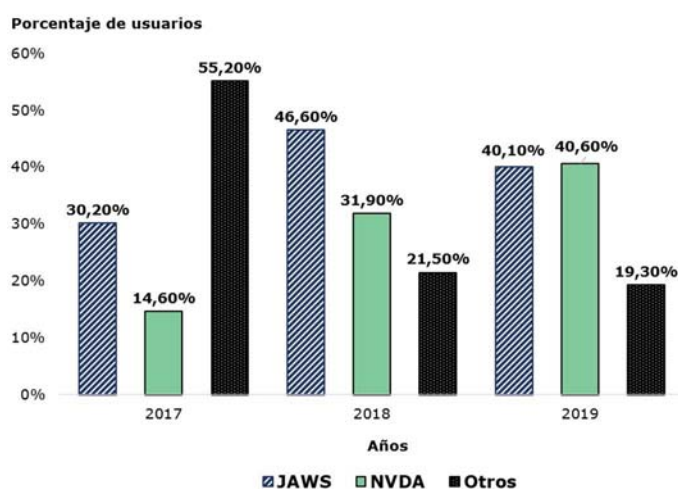


Figura 1. Gráfico de barras creado siguiendo las directrices de este trabajo. Fuente: [Screen Reader User Survey](#) (WebAIM, 2017-2019)

VII. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Este trabajo recoge 21 directrices orientadas a facilitar la creación de gráficos estadísticos accesibles para personas con baja visión.

Si bien un número considerable de herramientas de autor ampliamente adoptadas –por ejemplo, la mayoría de los paquetes ofimáticos– generan en origen gráficos en formato vectorial y permiten el cumplimiento de un buen número de los requisitos contemplados en este trabajo, presentan importantes déficits en sus opciones de exportación, limitándose en la mayoría de los casos a la generación de imágenes en formato de mapa de bits. El uso de estándares como HTML5, SVG o Canvas, o bibliotecas de JavaScript específicas requieren de ciertos conocimientos de programación, lo que a menudo presenta importantes barreras tecnológicas para muchos usuarios. Por otra parte, aunque en la actualidad han aparecido algunas soluciones en la nube que buscan democratizar la creación de este tipo de gráficos, el desconocimiento de este tipo de soluciones, así como de los requisitos de accesibilidad aplicables entre los creadores de contenido, imponen barreras en su uso.

Más allá del formato utilizado, la viabilidad del resto de aspectos recogidos en las directrices propuestas se antoja totalmente asumible tanto por lo que respecta a las opciones ofrecidas por los paquetes ofimáticos, bibliotecas de software, como por las herramientas de diseño.

La principal línea de trabajo futura pasa por evaluar el impacto de las directrices propuestas en la accesibilidad de diferentes tipos de gráficos estadísticos representativos a través de estudios con usuarios reales, así como la formalización de una propuesta evaluativa que valide completamente el presente trabajo permitiendo, además, determinar la existencia de algún otro criterio aplicable. Finalmente, una vez consolidadas las directrices, se prevé la preparación de una publicación divulgativa orientada a diferentes tipos de creadores de contenido (diseñadores, periodistas, profesores...), con el objetivo de acercar esta investigación al gran público.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] R. Bourne, et al., "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*, vol. 5, no. 9, pp. 888-897.
- [2] WHO. Blindness and vision impairment. Fact sheets, 2019. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>.
- [3] M. Rodríguez, S. López Hernández and S. Rodríguez Masó, "Baja visión y envejecimiento de la población," *Revista cubana de oftalmología*, vol. 29, n. 3, 2016. <http://ref.scielo.org/7sm8wq>.
- [4] J. White, "WCAG 2.1 meets STEM: application, interpretation, and opportunities for further standard development," *J Learn Disabil*, vol. 22, n. 1, 2018.
- [5] W3C. Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1. W3C, 2018. <https://www.w3.org/TR/WCAG21/>.
- [6] J. Allan J. A. Kirkpatrick, S. Henry, Accessibility requirements for people with low vision. W3C, 2019. <https://w3c.github.io/low-vision-a11y-tf/requirements.html>.
- [7] Diagram Center. Image description guidelines. <http://diagramcenter.org/table-of-contents-2.html>.
- [8] S. Evergreen, A. Emery, Presenting data effectively: communicating your findings for maximum impact, *Data visualization checklist*. Thousand Oaks, Ca: SAGE, 2018, pp. 2015–220.
- [9] S. Szpiro, S. Hashash, Y. Zhao and S. Azenkot, "How People with low vision access computing devices: understanding challenges and opportunities," *ASSETS '16 Proceedings of the 18th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, pp 171–180, October 2016.
- [10] R. Alcaraz Martínez, M. Ribera, T. Granollers, "La accesibilidad de los gráficos estadísticos para personas con baja visión y visión cromática deficiente: revisión del estado del arte y perspectivas," *Interacción: revista digital de AIPO*, no. 1, pp. 59–75, 2020.
- [11] UNECE (2009) Making data meaningful. Part 2: a guide to presenting statistics. United Nations, Geneva. https://www.unece.org/fileadmin/DAM/stats/documents/writing/MDM_Part2_English.pdf.
- [12] R. Alcaraz Martínez, M. Ribera, T. Granollers, "Methodology for heuristic evaluation of the accessibility of statistical charts for people with low vision and color vision deficiency," unpublished.
- [13] R. Alcaraz Martínez, M. Ribera, T. Granollers, "¿Son accesibles los gráficos estadísticos para personas con baja visión en la prensa digital?: una propuesta metodológica basada en heurísticas," *Prof. Inf.*, 2020 in press.
- [14] A. Pereira, et al., "Game accessibility guidelines for people with sequelae from macular chorioretinitis," *Entertainment computing*, vol. 28, pp. 49–58, 2018.
- [15] S. Evergreen, C. Metzner, Design principles for data visualization in evaluation. In Azzam T, Evergreen S (Eds.) *Data visualization, part 2. New directions for evaluation 2013*, vol. 140, pp. 5–20, 2013.
- [16] C. Knaflic, *Storytelling with data: a data visualization guide for business professionals*. Wiley, New Jersey, 2015.
- [17] M. Fera, "Consejos para la confección de gráficos científicos," *Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve*, n.º 20, pp. 45–56, 2010.
- [18] S. Elzer, et al., "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, 2007.
- [19] V. Mittal, G. Carenini, J. Moore, S. Roth, "Describing complex charts in natural language: a caption generation system," *Comput Linguist*, vol. 24, no. 3, pp. 431–467, 1998
- [20] H. Yu, S. Agarwal, M. Johnston, A. Cohen, "Are figure legends sufficient? evaluating the contribution of associated text to biomedical figure comprehension," *J Biomed Discov Collab*, vol. 4, no. 1, 2009.
- [21] W. Cohen, R. Wang, R. Murphy, "Understanding captions in biomedical publications," In *Proc of the ninth ACM SIGKDD Int Conf on Knowledge Discovery and Data Mining*, pp. 499–504, 2003.
- [22] B. Splendiani, A proposal for the inclusion of accessibility criteria in the authoring workflow of images for scientific articles. Dissertation, University of Barcelona. 2015.
- [23] W3C How to meet WCAG (quick reference): a customizable quick reference to Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2 requirements (success criteria) and techniques. W3C, 2019. <https://www.w3.org/WAI/WCAG21/quickref/>.
- [24] W3C. Complex images. Web accessibility tutorials: guidance on how to create websites that meet WCAG. W3C 2019. <https://www.w3.org/WAI/tutorials/images/complex/>.
- [25] H. Ault, J. Deloge, R. Lapp, M. Morgan, J. Barnett, "Evaluation of long descriptions of statistical graphics for blind and low vision web users," *8th International Conference, ICCHP 2002*, pp 517–526, 2002.
- [26] WebAIM. Screen reader user survey #6 results. 2015. <https://webaim.org/projects/screenreadersurvey6/>.
- [27] M. Corio, G. Lapalme, Integrated generation of graphics and text: a corpus study. In *Proc of the COLING-ACL Workshop on Content Visualization and Intermedia Representations (CVIR'98)*, pp 63–68, 1998.
- [28] M. Corio, G. Lapalme, "Generation of texts for information graphics," *Proc of the 7th European Workshop on Natural Language Generation (EWNLG'99)*, pp 49–58, 1999.
- [29] C. Ware, J. Beatty, "Using colour as a tool in discrete data analysis," *Tech. Rep. CS- 85-21*. Waterloo, Ont., Canada: Computer Science Dept., Univ. of Waterloo 1985.
- [30] J. Mackinlay, "Automating the design of graphical presentations of relational information," *ACM Transactions on Graphics (TOG)* vol. 5, pp. 110–141, 1986.
- [31] J. Olson, C. Brewer, "An evaluation of color selections to accommodate map users with color-vision impairments," *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 87, no. 1, pp. 103–134 1997.
- [32] C. Brewer, *Designing better maps: a guide for GIS users*. Redlands (Calif.): ESRI Press, 2016.
- [33] M. Bernard, C. Liao, M. Mills, "The effects of font type and size on the legibility and reading time of online text by older adults," *Proc of the ACM/SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI2001)*, pp 175-176, 2001.
- [34] WebAIM. Survey of Users with Low Vision #2 Results. October 2018. <https://webaim.org/projects/lowvisionsurvey2/>.
- [35] G. Rubin, M. Feely, S. Perera, K. Ekstrom, E. Williamson, "The effect of font and line width on reading speed in people with mild to moderate vision loss," *Ophthalm Physiol Opt*, vol. 26, no. 6, pp. 545–554, 2006.
- [36] J. Bernard, C. Aguilar, E. Castet, "A new font, specifically designed for peripheral vision, improves peripheral letter and word recognition, but not eye-mediated reading performance," *Plos One*, vol. 11, no. 4, 2016. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152506>.
- [37] J. Elaine Kitchel, *APH Guidelines for Print Document Design*. APH, 2019. <https://www.aph.org/aph-guidelines-for-print-document-design/>.
- [38] J. Nielsen, "Let users control font size," *Nielsen Norman Group. Blog*, 2002. <https://www.nngroup.com/articles/let-users-control-font-size/>.
- [39] M. Tinker, *The legibility of print*. Ames: Iowa State University Press, 1963.
- [40] A. Calabrese, J. Bernard, L. Hoffart, G. Faure, F. Barouch, J. Conrath, E. Castet, "Small effect of interline spacing on maximal reading speed in low-vision patients with central field loss irrespective of scotoma size," *Invest Ophth Vis Sci*, vol. 51, no. 2, pp. 1247–1254, 2010.
- [41] S. Blackmore-Wright, M. Georgeson, S. Anderson, Enhanced text spacing improves reading performance in individuals with macular disease," *PLoS One*, vol. 8, no. 11, 2013. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080325>.
- [42] E. Russell-Minda, "The legibility of typefaces for readers with low vision: a research review," *J Vis Impair Blind*, vol. 101, no. 7, pp. 402–415, 2007. <https://doi.org/10.1177/0145482X0710100703>.
- [43] G. Legge, G. Rubin, D. Pelli, M. Schleske. *Psychophysics of Reading – ii. Low Vision*. Vision Research, 1985.
- [44] C. Piepenbrock, S. Mayr, I. Mund, A. Buchner, "Positive display polarity is advantageous for both younger and older adults," *Ergonomics*, vol. 56, issue 7, pp. 1116–1124.
- [45] I. Herman, D. Dardailler, "SVG linearization and accessibility," *Computer graphics forum*, vol. 21, no. 4, pp. 777-786, 2002.
- [46] S. Pavazza, K. Pap, "The alternative way of creating infographics using SVG technology," *Acta graphica*, vol. 23, no. 1–2, pp. 45–56, 2012.
- [47] W3C, SVG Accessibility/ARIA roles for charts. W3C, 2015. https://www.w3.org/wiki/SVG_Accessibility/ARIA_roles_for_charts.
- [48] W3C, WAI-ARIA graphics module. W3C, 2018 <https://www.w3.org/TR/graphics-aria-1.0/>.
- [49] C. McCathieNeville, M. Koivunen, Accessibility features of SVG. W3C, 2000. <https://www.w3.org/TR/2000/NOTE-SVG-access-20000807/>.

5.

Discusión global de los resultados

Como resultado de esta investigación doctoral se ha presentado una **revisión de la literatura** publicada acerca de las características, barreras de accesibilidad, estrategias y preferencias presentadas por parte de los usuarios con baja visión cuando interactúan con el contenido digital, en concreto, en cuanto al acceso a los gráficos estadísticos en la Web. También, aunque no es el objeto principal de esta investigación, en relación con los trabajos publicados centrados en el uso y significado de los gráficos estadísticos, orientados al análisis del impacto de diferentes factores en la comprensión del mensaje que transmiten.

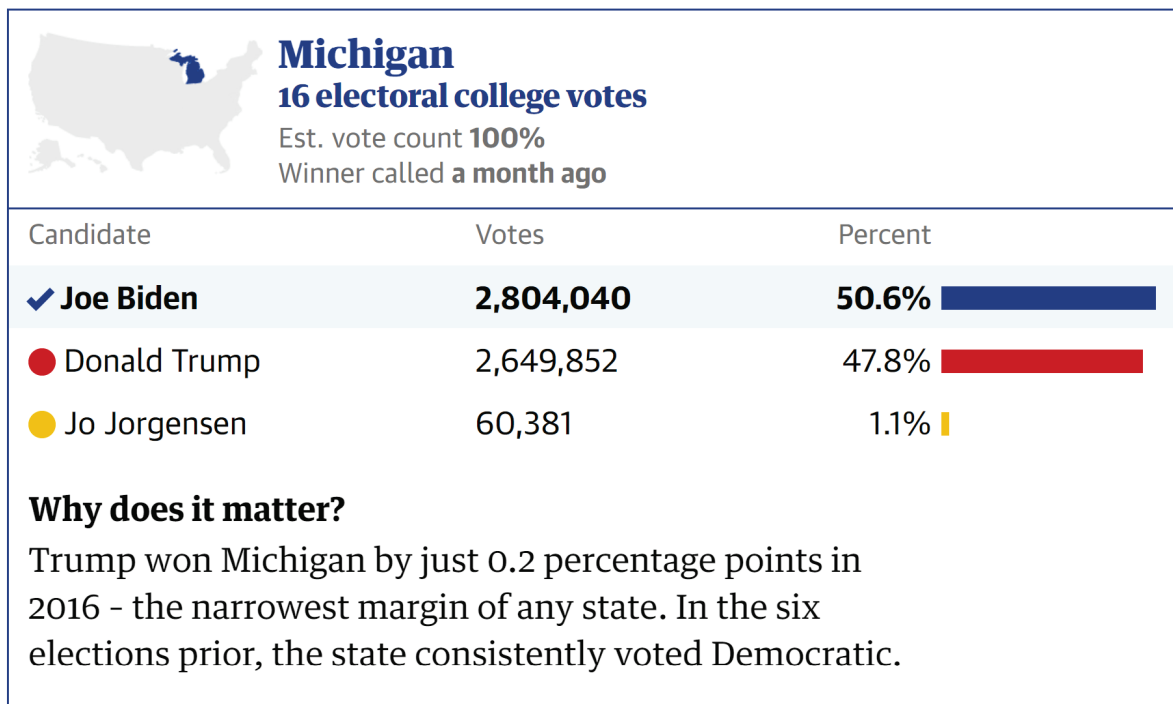
En base a esta revisión, se desarrolló una **metodología para la evaluación heurística de la accesibilidad de los gráficos estadísticos para personas con baja visión y visión cromática deficiente** (publicación 4). Un primer experimento (publicación 5) sirvió para introducir la metodología y el conjunto de indicadores heurísticos a los investigadores que, posteriormente, lo utilizarían en otros tres trabajos relacionados con gráficos estadísticos publicados en la **prensa digital** (publicación 6), por **gobiernos y organizaciones de la salud** relacionados con la crisis del COVID-19 (publicación 7), y en **revistas científicas** del ámbito de la información y la documentación (publicación 8). Estos trabajos sirvieron para validar el conjunto de indicadores heurísticos, ajustando determinados aspectos como la escala utilizada para el cálculo del nivel de cumplimiento de cada uno de ellos, ampliando la documentación relacionada con el conjunto de indicadores, ofreciendo información adicional sobre cada principio, así como ejemplos de puntuaciones y de casos de éxito y fallo para los evaluadores. También permitieron evidenciar la necesidad de incluir un nuevo principio derivado de un vacío no contemplado en la primera iteración de la propuesta.

El proceso de validación de la lista de indicadores heurísticos llevado a cabo a través de la evaluación de la accesibilidad de los gráficos estadísticos presentes en sitios web de tres sectores clave de la sociedad, como son la prensa escrita, la información de salud y las revistas científicas, puso en evidencia numerosos problemas de accesibilidad para las personas con baja visión. A continuación, se resumen los principales hallazgos de estas evaluaciones.

Entre los **principales problemas detectados** en los tres sectores, destaca la prácticamente nula presencia de alternativas textuales en los gráficos publicados como imágenes en formato de mapa de bits. Un problema que también se da en el caso de los

gráficos estadísticos generados con tecnologías web, en los cuales, a pesar de utilizarse texto real y no imágenes de texto, no se observó el uso del estándar WAI-ARIA que, como hemos visto, actualmente ofrece todo un conjunto de atributos orientados a mejorar la accesibilidad de este tipo de recursos a través de alternativas textuales. Tampoco se observa el uso de descripciones largas ni, en la mayoría de los casos, acceso a una tabla con los datos del gráfico, si bien en varios de los paneles de control de los sitios web con información de salud, era posible acceder a los datos en bruto a través de ficheros XLS o CSV. Otros elementos textuales como los títulos de los gráficos, de sus ejes o los pies de imagen tampoco destacaban entre las virtudes de los gráficos analizados. La excepción a esta norma general son los pies de imagen de los artículos científicos evaluados, un elemento al que prestan especial atención las políticas editoriales de las revistas científicas y, por tanto, son mucho más cuidados por parte de sus autores.

Figura 38. *The Guardian*, uno de los medios analizados en la evaluación de gráficos estadísticos del sector de la prensa escrita, demostró su buen hacer en la creación de gráficos estadísticos durante el escrutinio de los resultados electorales de las elecciones presidenciales norteamericanas de 2020.³⁴ En la imagen, se observa el gráfico de barras horizontales utilizado para mostrar los resultados de cada estado, acompañado por una explicación que contextualiza los resultados y explica su importancia en el resultado final.



³⁴ Disponible en: <https://www.theguardian.com/us-news/ng-interactive/2020/nov/30/us-election-results-2020-joe-biden-defeats-donald-trump-to-win-presidency>.

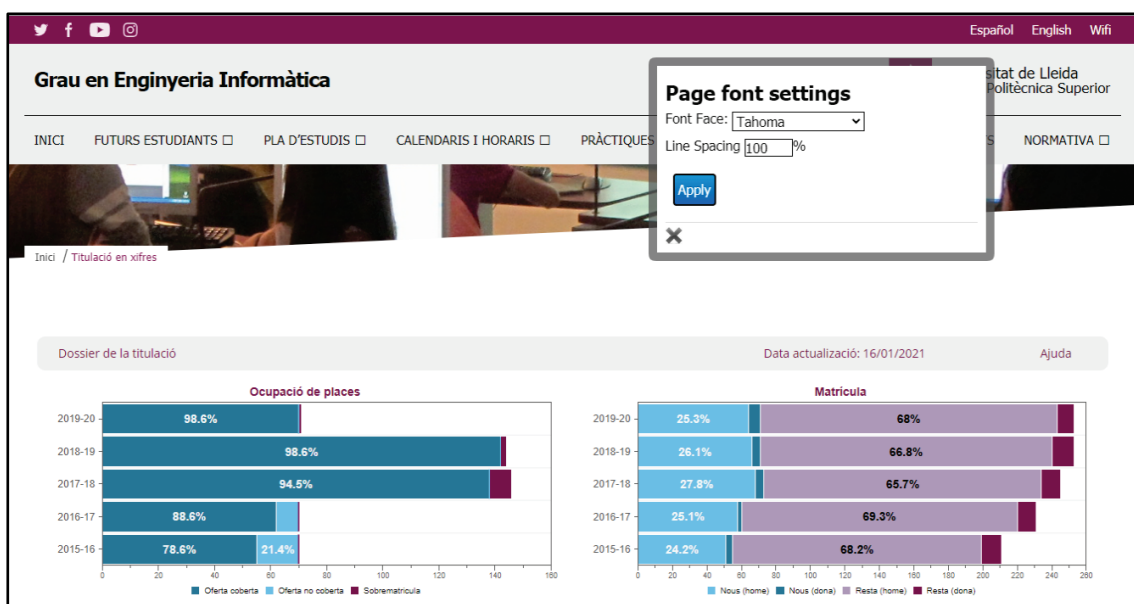
Gráficos estadísticos para personas con baja visión:
desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

Cuando los gráficos son interactivos, proporcionar acceso a través de una interfaz de teclado es imprescindible para que los usuarios de lectores de pantalla puedan aprovechar todas sus características (acceso a *tooltips* con información adicional, la posibilidad de filtrar los datos de una sola categoría...).

Si bien este tipo de gráficos son a priori más personalizables que las imágenes de texto a través de ayudas técnicas que permiten modificar la fuente tipográfica, tamaño del texto, interlineado o su color, entre otros, lo cierto es que en ocasiones al presentar estilos CSS en línea (*inline*) se dificulta la integración de estas ayudas.

Los estilos en línea son una de las tres formas posibles de añadir estilos CSS a un documento HTML. Esta manera personalizar la apariencia de un documento web se fundamenta en el uso del atributo `style` en el elemento HTML que se quiere personalizar, junto a las propiedades y valores necesarios para hacerlo, como valor del atributo. El estándar CSS se fundamenta en tres conceptos para determinar la apariencia del documento cuando se aplican varias declaraciones CSS contrapuestas: importancia (dónde se ha especificado la declaración CSS, por ejemplo: hojas de estilo de los agentes de usuario, declaraciones en las hojas de estilo del autor, del usuario...); especificidad (siendo más importantes aquellos selectores más específicos, por ejemplo: uno que hace referencia a una clase, que otro que la hace al cuerpo del documento) y orden de las fuentes (siendo más importante la última declaración que se instancia). Los estilos en línea pueden ser más específicos y declararse en último lugar, imposibilitando la personalización de la interfaz por parte del usuario mediante ayudas técnicas (figura 39).

Figura 39. En el ejemplo, mediante la extensión de navegador ATbar es posible modificar la fuente tipográfica e interlineado del título y menús de la página de información sobre el Grado en Ingeniería Informática de la UdL. No obstante, los estilos aplicados a los gráficos dinámicos de la parte inferior son más específicos por lo que no es posible modificarlos mediante esta ayuda técnica.



El **color** es precisamente otro de los principales problemas detectados. En este sentido, en ámbitos como el periodístico se ha observado un escaso uso de guías de estilo que, partiendo de buenas prácticas, permitan también unificar estilos entre redactores. Algo menos acusado en los sitios web de las organizaciones de salud, pero bastante habitual también en las revistas científicas. Combinaciones de colores no accesibles y un contraste insuficiente entre colores adyacentes son los dos principales problemas en relación con el color.

El **uso de patrones** o **texturas** como alternativa al color, a pesar de tratarse de una solución conocida desde hace décadas por su utilidad también cuando sólo es posible imprimir documentos en blanco y negro, no se ha observado como una práctica habitual en los gráficos evaluados. El etiquetado textual de las marcas como alternativa al uso del color para diferenciar categorías es otra alternativa no siempre aprovechada.

La importante cantidad y variedad de problemas de accesibilidad presente en los gráficos estadísticos de los organismos gubernamentales y no gubernamentales de salud no es un hecho aislado, presentando el resto de los elementos y páginas de estos sitios web también numerosos problemas de accesibilidad, lo cual contrasta con lo relativamente rápido que han implementado otros requisitos como la adaptación de sus interfaces a dispositivos móviles (Youngblood, 2020). Unos rediseños que, también en el caso del resto de tipos de sitios web analizados, se han priorizado a la accesibilidad.

Resulta complicado comparar los resultados obtenidos con la literatura previamente publicada, pues, como se ha mencionado a lo largo de la memoria, ningún trabajo previo se había centrado en la evaluación de la accesibilidad de los gráficos estadísticos para personas con baja visión. Los trabajos recogidos en el apartado “Trabajos relacionados” de esta tesis han servido como fuente para la creación de la lista de indicadores heurísticos, tanto los que abordaban la creación de gráficos estadísticos siguiendo criterios de calidad, como aquellos que se centraban específicamente en su accesibilidad para otros perfiles de discapacidad, como el de las personas ciegas.

En comparación con otros trabajos (Simon *et al.*, 2019; Lundgard *et al.*, 2019; Sathi y Sadhasivan, 2020; Snaprud y Velazquez, 2020), así como en comparación a directrices para la evaluación general de la accesibilidad del contenido web como las WCAG 2.1, o específicas para gráficos estadísticos, como las del Diagram Center (2015), la metodología heurística propuesta en esta tesis:

- Se **centra** específicamente en el caso de las **personas con baja visión**, identificando una serie de componentes, elementos y características que deben abordarse para asegurar la accesibilidad de los gráficos estadísticos para este perfil de usuario.
- Se ha desarrollado y validado de manera rigurosa a partir del método propuesto por Quiñones *et al.* (2018) y las métricas de Jiménez *et al.* (2017), aportando **validez científica** a los resultados obtenidos.

Gráficos estadísticos para personas con baja visión:
desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

- Ha permitido detectar una **mayor cantidad de problemas únicos** y con una **mayor severidad** que las WCAG, permitiendo realizar evaluaciones más exhaustivas y que contemplan particularidades específicas del dominio evaluado.

A partir de la propuesta de indicadores heurísticos se elaboraron unas **directrices para la creación de gráficos estadísticos accesibles** para el perfil de usuario objeto de estudio (publicación 9) que, de cumplirse, también benefician a otros perfiles de usuarios con discapacidad como son las personas ciegas o con discapacidades motrices, pero también, algunos de ellos, a cualquier usuario, aunque no presente ningún tipo de discapacidad. Para las personas con discapacidades cognitivas, el uso de gráficos y visualizaciones de diversa índole puede ser, por sí mismo, una alternativa a un contenido textual narrativo mucho más complejo de comprender.

La tabla 8 recoge una síntesis de las barreras de accesibilidad asociadas a otros perfiles de discapacidad que pueden verse minimizadas o solventadas siguiendo las directrices derivadas de este trabajo.

Tabla 8. Resumen de los beneficios asociados a otros perfiles de usuario derivados del cumplimiento de los indicadores heurísticos propuestos.

Perfil de usuario	Barreras / Justificación	Heurísticos relacionados
Ceguera	Imposibilidad de acceso al contenido de carácter visual.	H1. Título H2. Leyenda H3. Ejes H4. Pie H5. Abreviaturas H6. Fuente de datos H8. Alternativa textual H9. Descripción larga H17. Navegación independiente del dispositivo

Perfil de usuario	Barreras / Justificación	Heurísticos relacionados
Motriz	<p>Dificultad para utilizar el ratón o teclado.</p> <p>Los requisitos para asegurar la accesibilidad del contenido para este colectivo no dependen tanto del contenido como de la interacción.</p> <p>En este sentido, es necesario asegurar un tamaño suficiente para los elementos interactivos (botones, selectores...), tareas cuentan con un tiempo suficiente y que pueden realizarse con una cantidad mínima de acciones necesarias para llevarla a cabo</p>	<p>H14. Redimensionado</p> <p>H17. Navegación independiente del dispositivo</p> <p>H18. Personalización</p>
Cognitiva	<p>Dificultades derivadas de la comprensión del lenguaje y la complejidad del contenido.</p> <p>Algunos de ellos, usuarios de lectores de pantalla, también se ven beneficiados por aquellos indicadores heurísticos orientados a las personas con ceguera. Esto incluye además los textos alternativos cortos y las descripciones largas las cuales también pueden funcionar como una síntesis de un contenido más complejo.</p>	<p>H1. Título</p> <p>H2. Leyenda</p> <p>H3. Ejes</p> <p>H4. Pie</p> <p>H5. Abreviaturas</p> <p>H6. Fuente de datos</p> <p>H8. Alternativa textual</p> <p>H9. Descripción larga</p> <p>H18. Personalización</p>
Cualquier persona	<p>Dificultad para comprender el mensaje de un gráfico estadístico.</p> <p>Los heurísticos propuestos funcionan también como conjunto de buenas prácticas que pueden ayudar a cualquier persona en la lectura del gráfico.</p> <p>Algunos indicadores relacionados con la posibilidad de personalizar el contenido (H14 o H18) además contribuyen a aumentar la satisfacción del usuario al interactuar con el contenido, al permitirle adaptar su presentación a sus preferencias o las características del dispositivo de consulta.</p>	<p>H1. Título</p> <p>H2. Leyenda</p> <p>H3. Ejes</p> <p>H4. Pie</p> <p>H5. Abreviaturas</p> <p>H6. Fuente de datos</p> <p>H7. Versión impresa</p> <p>H12. Legibilidad</p> <p>H13. Calidad de imagen</p> <p>H14. Redimensionado</p> <p>H15. Sin obstáculos en la visualización</p> <p>H18. Personalización</p>

6. Conclusiones

Este capítulo resume el trabajo de investigación sobre la accesibilidad de los gráficos estadísticos para personas con baja visión y visión cromática deficiente y destaca sus principales hallazgos y aportaciones.

De acuerdo con el contexto descrito en el apartado 1.4 (justificación), caracterizado por un importante desconocimiento en la sociedad de las barreras y soluciones orientadas a mejorar la accesibilidad del colectivo de personas con baja visión, así como del vacío en la literatura publicada sobre la misma cuestión en relación con la accesibilidad de los gráficos estadísticos, la **principal aportación** de esta tesis es la de contribuir a incrementar la cantidad de recursos disponibles para mejorar la accesibilidad de este tipo de contenido para las personas de este colectivo. Específicamente, los principales aportes fruto de esta investigación se resumen en los siguientes puntos:

- Se presenta una **relación detallada de las principales barreras** que encuentran las **personas con baja visión** cuando **interactúan con un sitio web**, así como de las soluciones planteadas en la literatura.
- Se presenta un **estado del arte** de la investigación sobre la **accesibilidad de los gráficos estadísticos para personas con discapacidad visual**, que se centra específicamente en el perfil de personas con baja visión.
- Se contribuye en la redefinición del concepto de "**accesibilidad visual**", dando carta de naturaleza a barreras, estrategias y soluciones orientadas a un perfil de discapacidad como la baja visión generalmente olvidado tanto en la literatura, como por la sociedad en general.
- Se aplica y confirma la utilidad de la **metodología** propuesta por Quiñones *et al.* (2018) para la creación de un conjunto de **indicadores heurísticos de dominio**.
- Se presenta la creación de una **herramienta metodológica** para la evaluación de la accesibilidad de los gráficos estadísticos para personas con baja visión basada en una propuesta de **indicadores heurísticos** que cubre un vacío evidenciado por la falta de directrices y guías específicas para la creación de gráficos accesibles para personas con baja visión.
- Se definen una serie de **instrumentos de valoración para el conjunto de indicadores** propuestos a partir de herramientas semi-automatizadas y guías específicas para los evaluadores basadas en el uso de una escala Likert y un sistema de ponderaciones. Finalmente, se complementa con un protocolo para la revisión final conjunta de las puntuaciones de cada evaluador.

- Se presenta el resultado de la **validación del conjunto de indicadores heurísticos** a partir de la conducción de diferentes evaluaciones heurísticas.
- Se ofrece una **panorámica del estado actual de la accesibilidad para personas con baja visión** de los **gráficos estadísticos** publicados en **tres sectores clave de la sociedad**: medios de comunicación (prensa escrita), revistas académicas e información de organizaciones nacionales e internacionales de salud.

Poco a poco avanzamos hacia una sociedad en la que las personas con diversidad funcional no son discriminadas por sus diferencias, y estas son consideradas como una faceta propia de la naturaleza humana. La completa integración y no discriminación de este colectivo dependen también, en gran medida, de la accesibilidad de la información digital, un aspecto imprescindible para garantizar sus derechos como ciudadanos y su participación en la sociedad.

La aportación que se presenta en este trabajo viene a ampliar una escasa presencia de la baja visión en la literatura científica, lo que esperamos contribuya, además, no sólo a aumentar la cantidad de recursos prácticos orientados a mejorar la accesibilidad para estas personas, sino también a incrementar su visibilidad en la sociedad.

En la misma línea, si bien en los últimos años hemos podido contemplar cómo la popularidad de las disciplinas de la visualización de la información y la visualización de datos han crecido enormemente, hasta el punto de que la alfabetización de datos se ha convertido en un auténtico reto para nuestra sociedad presente, la práctica habitual de los profesionales del periodismo, diseño, academia o ingeniería no siempre se guía en buenas prácticas e impone ciertas barreras en sus visualizaciones para las personas con discapacidad. El trabajo presentado sirve también como recurso para que todos estos profesionales conozcan las barreras que sus trabajos pueden imponer a las personas con discapacidad visual, así como fuente en la que encontrar soluciones concretas de diseño e implementación.

Por otro lado, también cabe destacar la utilidad de este trabajo en su aplicabilidad que no sólo se limita a un tipo concreto de visualización de datos como son los gráficos estadísticos, sino que también resulta de interés y es perfectamente aplicable a otro tipo de visualizaciones como las infografías, diagramas o mapas, entre otros. En este sentido, la accesibilidad de este tipo de contenido no es una preocupación de nicho o para unos pocos, sino que resulta de interés para toda la sociedad, facilitando así la integración de personas con discapacidad en la formación en áreas de conocimiento STEM, o en la enseñanza de la geografía, por citar algunas de las más representativas en cuanto al uso de visualizaciones de la información. Restringir el acceso al aprendizaje de estas materias a los estudiantes con discapacidad por el hecho de no contar con materiales docentes accesibles es una forma de discriminación. En el mismo sentido, también beneficia a la sociedad por lo que implica en el acceso por igual de toda la ciudadanía a la información generada por la administración pública o los medios de comunicación, entre otros actores clave.

Gráficos estadísticos para personas con baja visión:
desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

Por otro lado, también cabe destacar la flexibilidad que admite un conjunto de indicadores heurísticos como el propuesto para incorporar nuevos principios orientados a satisfacer las necesidades de una mayor variedad de colectivos. En este sentido, una posible línea de trabajo futuro consistiría en ampliar los indicadores heurísticos con el objetivo de satisfacer una mayor cantidad de necesidades propias de otros perfiles.

A lo largo del proceso de investigación, hemos podido comprobar lo acertadas que son afirmaciones propias del modelo social de la discapacidad, cuando indican que las causas que originan la discapacidad tienen que ver con limitaciones propias de la sociedad, y no tanto en las diferencias individuales de las personas como causantes de barreras específicas. Es por ello por lo que, si bien durante muchos años los esfuerzos dedicados a la accesibilidad digital se han centrado en su apartado más técnico, esta tesis busca ofrecer unos principios y directrices fáciles de entender e implementar por parte de los autores de contenido.

7.

Trabajo futuro

Entre las principales líneas de trabajo futuro, pensamos que resulta necesario incorporar a la investigación usuarios reales representativos de la gran diversidad presente en el colectivo de personas con baja visión. Esto nos permitirá conocer de manera directa las barreras que encuentran al interactuar y acceder al contenido de un gráfico estadístico en la Web. Si bien la propuesta metodológica presentada en esta tesis ha quedado validada a través de los diferentes trabajos en los cuales se ha aplicado, consideramos importante abordar el trabajo futuro ampliando la validación con un mayor número de técnicas y metodologías centradas en el usuario, entre las cuales los test de usuarios. La inclusión de usuarios en la investigación, más allá de permitir afianzar la validación de la propuesta metodológica presentada, debería continuar permitiendo profundizar en las barreras de accesibilidad que este colectivo encuentra cuando accede a un gráfico estadístico. Por otro lado, también permitirá conocer con más detalle sus estrategias y preferencias cuando acceden a este tipo de recursos.

Conducir una evaluación heurística y la realización del informe correspondiente en papel es, hasta cierto punto, engorroso y requiere mucho tiempo y esfuerzo por parte de la persona que la lleva a cabo (Law y Hvannberg, 2004). La metodología presentada en esta tesis introduce una plantilla estructurada para la anotación de los problemas de accesibilidad detectados, así como para el cálculo automatizado de la puntuación final obtenida por cada gráfico. Este tipo de herramientas facilitan la conducción de las evaluaciones heurísticas, permitiendo a los evaluadores informar de manera más eficiente los problemas detectados o recuperar y modificar las puntuaciones otorgadas más fácilmente (Hvannberg *et al*, 2007). También permiten mejorar la fiabilidad en la combinación de problemas de accesibilidad entre diferentes evaluadores (Hvannberg *et al*, 2007). No obstante, a pesar de los beneficios destacados, la herramienta utilizada presenta algunas limitaciones:

- Alternar entre el navegador web y la plantilla es tedioso.
- La integración de los resultados de varios evaluadores no es sencilla.
- Se da una fragmentación de archivos difícil de manejar.

Gráficos estadísticos para personas con baja visión:
desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

Con el objetivo de salvar estas limitaciones, pensamos en el desarrollo de una herramienta web que permita:

- Disponer en la misma interfaz del gráfico a evaluar y los campos a informar.
- Contar con una infraestructura (base de datos) que facilite la integración, comparación y análisis de los resultados.
- Ofrecer métricas adicionales como el tiempo invertido por cada evaluador en cada evaluación.

Tal y como se ha comentado en el apartado de discusión, la metodología utilizada abre las puertas a una posible ampliación del alcance del conjunto de indicadores heurísticos, con el objetivo de satisfacer una mayor cantidad de requisitos correspondientes a otros perfiles de personas con discapacidad.

Finalmente, otra línea de trabajo futuro consiste en aproximar los resultados de esta investigación a diversos colectivos como docentes, periodistas o *webmasters* a partir de guías específicas. Promover la accesibilidad, orientar a técnicos y desarrolladores, y ahondar en el desarrollo de tecnologías accesibles es de vital importancia para conseguir mejorar la inclusión digital. En este sentido, resulta igual o más importante acercar todo este conocimiento a investigadores, como al público en general, especialmente a las personas responsables del diseño, creación y contratación de contenido en sus respectivos ámbitos de responsabilidad. Promover y divulgar la accesibilidad en todos los ámbitos es la mejor manera de asegurar una sociedad inclusiva sin barreras para las personas con discapacidad.

8. Bibliografía

- Abou-Zahra, Shadi, 2017. *Diverse abilities and barriers. in How people with disabilities use the Web*. W3C. Disponible en: <https://www.w3.org/WAI/people-use-web/abilities-barriers>.
- Adnan, Muhammad; Just, Mike; Baillie, Lynne, 2016. "Investigating time series visualizations to improve the user experience". En: *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, p. 5444-5455.
- AENOR, 2019. *UNE-EN 301549:2019: requisitos de accesibilidad para productos y servicios TIC*. Versión oficial en español de EN 301549 V2.1.2 (2018-08). Madrid: AENOR. Disponible en: <http://administracionelectronica.gob.es/PAe/accesibilidad/une-en-301549-2019.pdf>.
- Agarwal, Shashank; Yu, Hong, 2009. "FigSum: automatically generating structured text summaries for figures in biomedical literature". En: *Proceedings of the 2009 Annual Symposium of the American Medical Information Association (AMIA)*. American Medical Information Association, San Francisco, CA, p. 6-10. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2815407/>.
- Aizpurua, Amaia; Arrue, Myriam; Vigo, Markel, 2013. "Uncovering the role of expectations on perceived web accessibility". En: *ASSETS '13: Proceedings of the 15th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, p. 1-2. <https://doi.org/10.1145/2513383.2513411>.
- Albers Szafir, Danielle; Correll, Michael; Gleicher, Michael, 2014. "Task-driven evaluation of aggregation in time series visualization". En: *Proceedings of the 32nd annual ACM conference on Human factors in Computing Systems*, p. 551-560. <https://doi.org/10.1145/2556288.2557200>.
- Albers Szafir, Danielle, 2018. "Modeling color difference for visualization design". En: *IEEE transactions on visualization and computer graphics*. Vol. 24, issue 1, p. 392-399. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2017.2744359>.
- Alcaraz Martínez, Rubén; Ribera, Mireia; Salse, Marina; Moese, Santi, 2016. "La traducción del lector de pantallas gratuito NVDA al catalán y su difusión en el ámbito catalán". En: *Congreso Internacional Universidad y Discapacidad (3º: 2016: Madrid)*. Una universidad inclusiva para una sociedad incluyente. Madrid: Fundación ONCE.

- Alcaraz Martínez, Rubén, 2016. "Webs i aplicacions mòbils: una aproximació des del punt de vista de l'experiència d'usuari". *Item: revista de biblioteconomia i documentació*. Núm. 61 (jul./set.), p. 21-42. Disponible en:
<https://www.raco.cat/index.php/Item/article/view/317352>.
- Allan, Jim; Kirkpatrick, Andrew; Henry, Shawn Lawton, 2016. *Accessibility requirements for people with low vision*. W3C First Public Working Draft 17 March 2016. Disponible en: <https://www.w3.org/TR/low-vision-needs/>.
- Allan, Jim; Kirkpatrick Andrew; Henry, Shawn Lawton, 2019. *Accessibility requirements for people with low vision*. W3C Editor's Draft 31 July 2019. Disponible en:
<https://w3c.github.io/low-vision-a11y-tf/requirements.html>.
- Al-Samarraie, Hosam; Muthana Sarsam, Samer; Naufal Umar, Irfan, 2017. "Visual perception of multi-column-layout text: insight from repeated and non-repeated reading". *Behaviour & information technology*. Vol. 36, no. 1, p. 75-84.
<https://doi.org/10.1080/0144929X.2016.1196502>.
- Alty, James L.; Rigas, Dimitrios I., 1998. "Communicating graphical information to blind users using music: the role of context". En: *CHI '98: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, p. 574–581.
<https://doi.org/10.1145/274644.274721>.
- Alty, James L.; Rigas, Dimitrios I., 2005. "Exploring the use of structured musical stimuli to communicate simple diagrams: the role of context". *International journal of human-computer studies*. Vol. 62, issue 1, p. 21-40.
<https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2004.08.003>.
- American Optometric Association, 2019. "Color vision deficiency". En: *Glossary of common eye & vision conditions*. Disponible en: <https://www.aoa.org/patients-and-public/eye-and-vision-problems/glossary-of-eye-and-vision-conditions/color-deficiency>.
- Araújo, Ricardo José de; Dos Reis, Julio Cesar; Bonacin, Rodrigo, 2020. "Understanding interface recoloring aspects by colorblind people: a user study". *Universal access in the information society*. Vol. 19, p. 81-98. <https://doi.org/10.1007/s10209-018-0631-7>.
- Arch, Andrew, 2008. *Web accessibility for older users: a literature review*. Disponible en: <https://www.w3.org/WAI/EO/Drafts/ageing/ED-waiageliterature-20080507.html>.
- Arditi, Aries, 1996. "Typography: print legibility and low Vision". En: Cole, R.; Rosenthal, B. (eds.). *Remediation and management of low vision*. St. Louis: Mosby, p. 237-248.

- Arditi, Aries; Cho, Jianna, 2007. "Letter case and text legibility in normal and low vision". *Vision research*. Vol. 47, no. 19, p. 2499-2505.
<https://dx.doi.org/10.1016%2Fj.visres.2007.06.010>.
- Arrue, Myriam; Valencia Xabier; Pérez, J. Eduardo; Moreno Lourdes; Abascal Julio, 2018. "Inclusive web empirical studies in remote and in situ settings: a user evaluation of the RemoTest platform". *International journal of human-computer interaction*.
<https://doi.org/10.1080/10447318.2018.1473941>.
- Arteaga, Pedro; Batanero, Carmen; Cañadas, Gustavo; Contreras, J. Miguel, 2010. "Las tablas y gráficos estadísticos como objetos culturales". *Números: revista de didáctica de las matemáticas*. Vol. 76, p. 55-67. Disponible en:
http://www.sinewton.org/numeros/numeros/76/Articulos_02.pdf.
- Arteaga, Pedro; Díaz-Levicoy, Danilo; Batanero, Carmen, 2018. "Investigaciones sobre gráficos estadísticos en educación primaria: revisión de la literatura". *Revista digital matemática, educación e internet*. Vol. 18, nº 1 (Ag.-Feb.).
<http://revistas.tec.ac.cr/index.php/matematica/article/view/3255/2954>.
- 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". Miesenberger K.; Klaus J.; Zagler W. (eds.). *Computers helping people with special needs*. ICCHP 2002. Lecture Notes in Computer Science. Vol 2398. Springer, Berlin: Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-45491-8_99.
- Bauer, D.; Cavonius, C.R., 1983. "Improving the legibility of visual display units through contrast reversal". En: Grandjean, E.; Vigliani, E. (eds.). *Ergonomic aspects of visual display terminals*. London: Taylor & Francis.
- Beckmann, Paul J.; Legge, Gordon E., 1996. "Psychophysics of reading – XIV. The page navigation problem in using magnifiers". *Vision Research*. Vol. 36, issue 22, p. 3723-3733. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(96\)00084-3](https://doi.org/10.1016/0042-6989(96)00084-3).
- Beier, Sofia; Larson, Kevin., 2010. "Design improvements for frequently misrecognized letters 1". *Information design journal*. Vol. 18, no. 2, p. 118–137.
<https://doi.org/10.1075/idj.18.2.03bei>.
- Bergel, Marguerite; Chadwick-Dias, Ann; LeDoux, Lori; Tullis, Tom, 2005. "Web accessibility for the low vision user". En: *Usability Professionals Association Annual Conference*, Montreal, Canada. Disponible en:
https://www.researchgate.net/profile/Thomas_Tullis/publication/228992673_Web_Accessibility_for_the_Low_Vision_User/links/00b4951f5bf90002d1000000/Web-Accessibility-for-the-Low-Vision-User.pdf

Bernard, Jean-Baptiste; Aguilar, Carlos; Castet, Eric, 2016. "A new font, specifically designed for peripheral vision, improves peripheral letter and word recognition, but not eye-mediated reading performance". *PLoS One*. Vol. 11, no. 4. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152506>.

Bernard, Michael; Liao, Chia-Hui; Mills, Melissa, 2001. "The effects of font type and size on the legibility and reading time of online text by older adults". En: *CHI EA '01: extended abstracts on human factors in computing systems*, p. 175-176. <https://doi.org/10.1145/634067.634173>.

Bertin, Jacques, 1967. *Sémiologie graphique: les diagrammes, les réseaux, les cartes*. Paris: Gauthier; Villars: Mouton.

Bertin, Jacques, 1983. *Semiology of graphics: diagrams, networks, maps*. Madison, Wis.: University of Wisconsin Press.

Bessemans, A. (2016). "Matilda: a typeface for children with low vision". En: Dyson, Mary C.; Suen Ching Y. *Digital fonts and reading*, p. 19-36. https://doi.org/10.1142/9789814759540_0002.

Bigham, Jeffrey P., 2014. "Making the web easier to see with opportunistic accessibility improvement". En: *UIST'14: Proceedings of the 27th annual ACM symposium on User interface software and technology*, p. 117-122. <https://doi.org/10.1145/2642918.2647357>.

Bigelow, C.; Holmes, K., 1986. "The Design of Lucida®: an integrated family of types for electronic literacy". En: van Vliet, J.C. *Text processing and document manipulation*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511663130>.

Bigelow, C.; Holmes, K., 2018. "Science and history behind the design of Lucida". *TUGboat*. Vol. 39, no. 3, p. 204-211. Disponible en: <https://tug.org/TUGboat/tb39-3/tb123bigelow-lucida.pdf>.

Bigelow, Charles, 2019. "Typeface features and legibility research". *Vision research*. Vol. 165. p. 162-172. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2019.05.003>.

Birch, Jennifer, 2014. *Colour vision deficiency. Part 1: an introduction*. Disponible en: <http://www.academyofvisioncare.com/files/documents/Colour%20Vision%20P1.pdf>.

Blackmore-Wright, Sally; Georgeson, Mark A.; Anderson, Stephen J., 2013. "Enhanced text spacing improves reading performance in individuals with macular disease". *PLoS One*. Vol. 8, no. 11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080325>.

- Bonafonte, Sergio; García, Charles, 2006. *Retinopatía diabética*. Madrid: Elsevier.
- Bonastre, Laia; Granollers, Toni, 2014. "A set of heuristics for user experience evaluation in e-commerce websites". En: *ACHI 2014: the Seventh International Conference on Advances in Computer-Human Interactions*, p. 27-34.
- Boni, Matteo, et al., 2006. "Automatically producing IMS AccessForAll metadata". En: *W4A '06: Proceedings of the 2006 international cross-disciplinary workshop on Web accessibility (W4A): building the mobile web: rediscovering accessibility?*, p. 92-97. <https://doi.org/10.1145/1133219.1133237>.
- Borodin, Yevgen; Bigham, Jeffrey P.; Dausch, Glenn; Ramakrishnan, I.V., 2010. "More than meets the eye: a survey of screen-reader browsing strategies". En: *W4A '10: Proceedings of the 2010 International Cross Disciplinary Conference on Web Accessibility*. Raleigh, North Carolina, USA, p. 13. <https://doi.org/10.1145/1805986.1806005>.
- Bostock, Michael; Ogievetsky, Vadim; Heer, Jeffrey, 2011. "D3: Data-Driven Documents". *IEEE transactions on visualization and computer graphics*. Disponible en: <http://vis.stanford.edu/files/2011-D3-InfoVis.pdf>.
- Boudreau, Denis, 2019. "Supporting the design phase with accessibility heuristics evaluations". *Accessible user experience & design*. Disponible en: <https://www.deque.com/blog/supporting-the-design-phase-with-accessibility-heuristics-evaluations/>.
- Bouma, H., 1980. "Visual reading processes and the quality of text displays". En: Grandjean, E; Vigliani, E. (eds.). *Ergonomic aspects of visual display terminals*. London: Taylor and Francis, p. 101-114.
- Bourne, Rupert R. A.; Flaxman Seth, R., Braithwaite Tasanee; Cicinelli Maria V.; Das Aditi; M.D.; Jonas Jost B.; Keeffe, Jill; Kempen John H.; Leasher Janet; Limburg Hans, Naidoo, Kovin, Pesudovs, Konrad; Resnikoff Serge; Silvester, Alex; Stevens, Gretchen A.; Tahhan, Nina; Wong Tien Y.; Taylor, Hugh 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*. Vol. 5, issue 9, p. 888-897. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(17\)30293-0](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(17)30293-0).
- Braille Authority of North America, 2012. *Guidelines and standards for tactile graphics*. Disponible en: <http://brailleauthority.org/tg/web-manual/>.
- Brajnik, Giorgio, 2004. "Comparing accessibility evaluation tools: a method for tool effectiveness". *Universal access in the information society*. Vol. 3, issue 4, p. 252-263. <https://doi.org/10.1007/s10209-004-0105-y>.

Gráficos estadísticos para personas con baja visión:
desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

- Brajnik, Giorgio, 2006. "Web accessibility testing: when the method is the culprit". En: Miesenberger K., Klaus J., Zagler W.L., Karshmer A.I. (eds). *Computers Helping People with Special Needs. ICCHP 2006. Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 4061. Berlin, Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/11788713_24.
- Brajnik, Giorgio, 2008. "Beyond conformance: the role of accessibility evaluation methods". En: Hartmann S., Zhou X., Kirchberg M. (eds). *Web Information Systems Engineering – WISE 2008 Workshops. WISE 2008. Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 5176. Berlin, Heidelberg; Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-85200-1_9.
- Brajnik, Giorgio, 2011. *Barrier walkthrough*. Disponible en: <https://users.dimi.uniud.it/~giorgio.brajnik/projects/bw/bw.html>.
- Brewer, Cynthia A., 2016. *Designing better maps: a guide for GIS users*. 2nd ed. Redlands (Calif.): ESRI Press.
- Brewer, Cynthia A.; Harrower, Marl, 2013. *ColorBrewer 2.0: color advice for cartography*. Pennsylvania State University. Disponible en: <http://colorbrewer2.org>.
- Brown, Lorna M.; Brewster, Stephen A., 2003. "Drawing by ear: interpreting sonified line graphs". En: *Proceedings of the 2003 International Conference on Auditory Display*. Boston, MA: ICAD, p. 152-156. Disponible en: <http://icad.org/Proceedings/2003/BrownBrewster2003a.pdf>.
- Cabañero-Resta, Ángel-Andrés; Luján-Mora, Sergio, 2012. *Estudio sobre la accesibilidad de los sitios web de medios de comunicación*. Alicante: Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos de la Universidad de Alicante. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10045/20343>.
- Cairo, Alberto, 2008. *Infografía 2.0: visualización interactiva de información en prensa*. Madrid: Alamut.
- Cairo, Alberto, 2017. "Visualización de datos: una imagen puede valer más que mil números, pero no siempre más que mil palabras". *El profesional de la información*. Vol. 26, nº 6, p. 1025-1028. <https://doi.org/10.3145/epi.2017.nov.02>.
- Cairo, Alberto, 2019. *How charts lie: getting smarter about visual information*. New York; W.W. Norton & Company.
- Calabrese, Aurélie; Bernard, Jean-Baptiste; Hoffart, Louis; Faure, Géraldine; Barouch, Fatiha; Conrath, John; Castet, Eric, 2010. "Small effect of interline spacing on maximal reading speed in low-vision patients with central field loss irrespective of scotoma size". *Investigative ophthalmology & visual Science*. Vol. 51, no. 2, p. 1247-1254. <https://doi.org/10.1167/iovs.09-3682>.

- Callaghan, Tara C., 1989. "Interference and dominance in texture segregation: hue, geometric form, and line orientation". *Perception & psychophysics*. Vol. 46, no. 4, p. 299-311. <https://doi.org/10.3758/BF03204984>.
- Carberry, Sandra; Elzer, Stephanie; Demir, Seniz, 2006. "Information graphics: an untapped resource for digital libraries". En: *SIGIR 2006: proceedings of the 29th Annual International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, p. 581–588. <https://doi.org/10.1145/1148170.1148270>.
- Card, Stuart K.; Mackinlay, Jock D.; Shneiderman, Ben (eds.), 1999. *Readings in information visualization: using vision to think*. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers.
- Carlson, Jake; Johnston, Lisa, 2015. *Data information Literacy: Librarians, Data, and the Education of a New Generation of Researchers*. West Lafayette, Indiana: Purdue University Press, p. 15.
- Casado Martínez, Carlos; Martínez Normand, Loïc, 2011. "Tecnología, diversidad y accesibilidad". En: Mor, Enric (coord.). *Interacción persona-ordenador*. Barcelona: UOC.
- Casare, Andreia R.; Da Silva, Celmar G.; Martins, Paulo S., 2016. "Usability heuristics and accessibility guidelines: a comparison of heuristic evaluation and WCAG". En: *SAC '16: Proceedings of the 31st Annual ACM Symposium on Applied Computing*, p. 213-215. <https://doi.org/10.1145/2851613.2851913>.
- Casare, Andreia R.; Silva, Celmar G. da; Martins, Paulo S.; Moraes, Regina L.O., 2016 "Usability heuristics and accessibility guidelines: a comparison of heuristic evaluation and WCAG". En: *SAC '16: Proceedings of the 31st Annual ACM Symposium on Applied Computing*, p. 213-215. <https://doi.org/10.1145/2851613.2851913>.
- Catarci, Tiziana; Cruz, Isabel F., 1996. "Information visualization". *ACM SIGMOD Record*. Vol. 25, issue 4. <https://doi.org/10.1145/245882.245888>.
- Cebrián de Miguel, María Dolores, 2003. *Glosario de discapacidad visual*. Madrid: Organización Nacional de Ciegos.
- Centers for Disease Control and Prevention, 2020. *Disability and health overview*. Washington: CDC. Disponible en: <https://www.cdc.gov/ncbddd/disabilityandhealth/disability.html>.
- Chacón Barbero, J., 2012. "Accesibilidad de los diferentes sistemas operativos móviles". En: *IV Jornadas de Usuarios de Tecnología para personas con discapacidad visual*.
- Chen, Min; Floridi, Luciano (2013). "An analysis of information visualisation". *Synthese* 190, p. 3421–3438. <https://doi.org/10.1007/s11229-012-0183-y>

- Chen, Jennifer C.; Cooper, Richelle J.; McMullen, Michael E.; Schriger, David L., 2017. "Graph quality in top medical journals". *Annals of emergency medicine*. Vol. 69, issue 4, p. 453-461. <https://doi.org/10.1016/j.annemergmed.2016.08.463>.
- Chester, Daniel; Elzer, Stephanie, 2005. "Getting computers to see information graphics so users do not have to". En: *Proceedings of the 15th Int'l Symposium on Methodologies for Intelligent Systems (ISMIS)*, p. 660-668. https://doi.org/10.1007/11425274_68.
- Chisholm, Wendy A.; Henry, Shawn Lawton, 2005. "Interdependent components of web accessibility". En: *W4A '05: Proceedings of the 2005 International Cross-Disciplinary Workshop on Web Accessibility*, p. 31-37. <https://doi.org/10.1145/1061811.1061818>
- Cleveland, William S.; McGill, Robert, 1984. "Graphical perception: theory, experimentation, and application to the development of graphical methods". *Journal of the American Statistical Association*. Vol. 79, no. 387, p. 531-554. <https://doi.org/10.2307/2288400>.
- Cleveland, William S., 1985. *The elements of graphing data*. Monterey (Calif.): Wadsworth Advanced Books and Software.
- Cobarsí-Morales, Josep, 2020. "Covid 19: fuentes de información cuantitativa". *ThinkEPI*. Disponible en: <https://listserv.rediris.es/cgi-bin/wa?A2=ind2004c&L=IWETEL&P=7130>.
- Cohen, Robert F.; Yu, Rui, Meacham, Arthur, & Skaff, J., 2005. "PLUMB: displaying graphs to the blind using an active auditory interface". En: *Proceedings of the 7th international ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, p. 182-183. <https://doi.org/10.1145/1090785.1090820>.
- Cohen, William W.; Wang, Richard; Murphy, Robert F., 2003. "Understanding captions in biomedical publications". En: *Proceedings of the ninth ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, p. 499-504. <https://doi.org/10.1145/956750.956809>.
- Colour Blindness Awareness, 2017. "Colour blindness". En: *Colour Blindness Awareness.com*. Disponible en: <http://www.colourblindawareness.org/colour-blindness/>.
- Connell, Bettye Rose; Jones, Mike; Mace, Ron, et al., 1997. *The principles of universal design*. North Carolina State University, The Center for Universal Design. Disponible en: https://projects.ncsu.edu/ncsu/design/cud/about_ud/udprinciplestext.htm
- Cooper, Henry; Henry, Shawn Lawton, 2016. *ARIA 1.0 implementation report*. W3C. Disponible en: <https://www.w3.org/WAI/ARIA/1.0/CR/implementation-report>.

- Cooper, Richelle J.; Schriger, David L.; Tashman, David A., 2001. "An evaluation of the graphical literacy of *Annals of Emergency Medicine*". *Annals of emergency medicine*. Vol. 37, issue 1, p. 13-19. <https://doi.org/10.1067/mem.2001.111569>.
- Cooper, Richelle J.; Schriger, David L.; Close, Reb J. H., 2002. "Graphical literacy: the quality of graphs in a large-circulation journal". *Annals of emergency medicine*. Vol. 40, issue 3, p. 317-322. <https://doi.org/10.1067/mem.2002.127327>.
- Corio, Marc; Lapalme, Guy, 1998. "Integrated generation of graphics and text: a corpus study". En: *Proc of the COLING-ACL Workshop on Content Visualization and Intermedia Representations (CVIR'98)*, p 63–68, 1998. Disponible en: <https://www.aclweb.org/anthology/W98-0209.pdf>.
- Corio, Marc; Lapalme, Guy, 1999. "Generation of texts for information graphics". En: *Proceedings of the 7th European Workshop on Natural Language Generation EWNLG'99*, p. 49-58.
- Correani, Francesco; Leporini, Barbara; Paternò, Fabio, 2004. "Supporting Web Usability for Vision Impaired Users". En: Stary, C.; Stephanidis, C. (eds.). *User-Centered Interaction Paradigms for Universal Access in the Information Society. UI4ALL 2004. Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 3196, p. 242-253. https://doi.org/10.1007/978-3-540-30111-0_20.
- Correll, Michael; Albers, Danielle; Franconeri, Steven, 2012. "Comparing averages in time series data". En: *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, p. 1095-1104. <https://doi.org/10.1145/2207676.2208556>.
- Costa Solà-Segalés, Joan, 1998. *La esquemática: visualizar la información*. Barcelona: Paidós.
- Crowder, Robert G., 1982. "The demise of short term memory". *Acta psychologica*. Vol. 50, issue 3, p. 291–323. [https://doi.org/10.1016/0001-6918\(82\)90044-0](https://doi.org/10.1016/0001-6918(82)90044-0).
- Cugelman, Brian; Thelwall, Mike; Dawes, Philip L., 2011. "Online interventions for social marketing health behavior change campaigns: a meta-analysis of psychological architectures and adherence factors". *Journal of medical Internet research*. Vol. 13, no. 1, p. 10. <https://doi.org/10.2196/jmir.1367>.
- Curcio, Frances R., 1987. "Comprehension of mathematical relationships expressed in graphs". *Journal for research in mathematics education*. Vol. 18, issue 5, p. 382-393. <https://doi.org/10.2307/749086>.
- Currier, Dean P., 1975. "Let's reduce the communication gap: how to present data in figures and tables". *Physical therapy*. Vol. 55, issue 7, p. 768-772. <https://doi.org/10.1093/ptj/55.7.768>.

Gráficos estadísticos para personas con baja visión:
desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

- Czaja, Sara J., 1997. "Computer technology and the older adult". En: Helander, M., et al. (eds). *Handbook of human-computer interaction*. Netherlands: Elsevier Science, p. 797-812. <https://doi.org/10.1016/B978-044481862-1.50100-X>.
- Davidov, Ari, 2002. "Computer screens are not like paper: typography on the web". En: Sassoon, R. (Ed.). *Computers and t Haselgroveypography*. Bristol: Intellect, vol. 2, p. 21-41.
- De, Paramita, 2018. "Automatic data extraction from 2D and 3D pie chart images". En: *Proceedings of the 8th International Advance Computing Conference, IACC 2018*, p. 20-25. <https://doi.org/10.1109/IADCC.2018.8692104>.
- Demir, Seniz; Oliver, David; Schwartz, Edward; Elzer Stephanie; Carberry, Sandra; McCoy, Kathleen F., 2010. "Interactive SIGHT demo: Textual summaries of simple bar charts". En: *ASSETS'10, Proceedings of the 12th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, p. 25-27. <https://doi.org/10.1145/1878803.1878864>.
- DIAGRAM Center, 2015. *Image description guidelines*. Disponible en: <http://diagramcenter.org/table-of-contents-2.html>.
- Dick, Wayne E., 2006. "Using cascading style sheets to accommodate websites for individuals with low vision". En: *ACM SIGACCESS Accessibility and Computing*. <https://doi.org/10.1145/1127564.1127566>.
- Discapnet, 2007. *Accesibilidad en los diarios digitales españoles*. Madrid: Discapnet. Disponible en: <https://www.dicapnet.es/sites/default/files/areas-tematicas/tecnologia/informedetalladoaccprensa.pdf>.
- Discapnet, 2016. *Accesibilidad de los principales medios digitales de comunicación*. Madrid: Discapnet. Disponible en: <https://www.dicapnet.es/areas-tematicas/tecnologiainclusiva/observatorio-de-accesibilidad-tic/informes-dicapnet-0>.
- Doush, Iyad Abu; Pontelli, Enrico; Simon, Dominic; Cao, Son Tran; Ma, Ou, 2009. "Making Microsoft Excel™ accessible: multimodal presentation of charts". En: *Proceedings of the 11th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility*. New York, NY: ACM, p. 147-154.
- Durbin, Charles G., 2004. "Effective use of tables and figures in abstracts, presentations, and papers". *Respiratory care*. Vol. 49, issue 10, p. 1233-1237.
- Duthel, Heinz. 2015. *Epistemología = Erkenntnistheorie: Wissenschaftslehr*. Norderstedt: Books on Demand.

- Dyson, Mary C.; Kipping, Gary J., 1997. "The legibility of screen formats: are three columns better than one?". *Computers & graphics*. Vol. 21, issue 6 (Nov./Dec.), p. 703-712. [https://doi.org/10.1016/S0097-8493\(97\)00048-4](https://doi.org/10.1016/S0097-8493(97)00048-4).
- Eggert, Eric; Abou-Zahra, Shadi (eds.), 2019. "Tables concepts". En: *Web accessibility tutorials: guidance on how to create websites that meet WCAG*. Disponible en: <https://www.w3.org/WAI/tutorials/tables/>.
- Ellcessor, Elizabeth, 2010. "Bridging disability divides: a critical history of web content accessibility through". *Information, communication & society*. Vol. 13, no. 3, p. 289-308. <https://doi.org/10.1080/13691180903456546>.
- Elzer, Stephanie; Carberry, Sandra; Chester, Daniel; Demir, Seniz; Green, Nancy; Zukerman, Ingrid; Trnka, Keith, 2007. "Exploring and exploiting the limited utility of captions in recognizing intention in information graphics". En: *Proceedings of the 43rd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL'05)*, p. 223-230. Disponible en: <https://www.aclweb.org/anthology/P05-1028.pdf>.
- Elzer, Stephanie; Schwartz, Edward; Carberry, Sandra; Chester, Daniel; Demir, Seniz; Wu, Peng, 2008. "Accessible bar charts for visually impaired users". En: *Telehealth/AT '08 Proceedings of the IASTED International Conference on Telehealth/Assistive Technologies*, p. 55-60. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/7207/bf3e6730ec641b550a823dc817b113eb3fde.pdf>.
- Engel, Christin; Weber, Gerhard, 2017. "Improve the accessibility of tactile charts". En: *INTERACT 2017: Human-Computer Interaction*, p. 187-195. https://doi.org/10.1007/978-3-319-67744-6_12.
- Engel, Christin; Müller, Emma Franziska; Weber, Gerhard, 2019. "SVGPlott: an accessible tool to generate highly adaptable, accessible audio-tactile charts for and from blind and visually impaired people". En: *PETRA '19: Proceedings of the 12th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments*, p. 186-195. <https://doi.org/10.1145/3316782.3316793>.
- Engelhardt, Jörg von, 2002. *The language of graphics: a framework for the analysis of syntax and meaning in maps, charts and diagrams*. Phd thesis. Universiteit van Amsterdam. Institute for Logic, Language and Computation. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11245/1.208097>.
- España, 1982. "Ley 13/1982, de 7 de abril, de integración social de los minusválidos". *Boletín oficial del Estado*. 30 de abril de 1982, nº 103, p. 11106-11112. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1982-9983>.

- España, 2002. "Ley 34/2002, de 11 de julio, de servicios de la sociedad de la información y de comercio electrónico". *Boletín oficial del Estado*. 12 de julio de 2002, nº 166, p.25388-25403. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2002-13758>.
- España, 2003. "Ley 51/2003, de 2 diciembre, de igualdad de oportunidades, no discriminación y accesibilidad universal de las personas con discapacidad". *Boletín oficial del Estado*. 3 de diciembre de 2003, nº 289, p. 43187-43195. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2003-22066>.
- España, 2007. "Real Decreto 366/2007, de 16 de marzo, por el que se establecen las condiciones de accesibilidad y no discriminación de las personas con discapacidad en sus relaciones con la Administración General del Estado". *Boletín oficial del Estado*. 24 de marzo de 2007, nº 72, p. 12852-12856. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-6239>.
- España, 2007. "Real Decreto 1494/2007, de 12 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre las condiciones básicas para el acceso de las personas con discapacidad a las tecnologías, productos y servicios relacionados con la sociedad de la información y medios de comunicación social". *Boletín oficial del Estado*. 21 de noviembre de 2007, nº 279, p. 47567-47572. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-19968>.
- España, 2007. "Ley Orgánica 4/2007, de 12 de abril, por la que se modifica la Ley Orgánica 6/2001, de 21 de diciembre, de Universidades". *Boletín oficial del Estado*. 13 de abril de 2007, nº 89, p. 16241-16260. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-7786>.
- España, 2007. "Ley 11/2007, de 22 de junio, de acceso electrónico de los ciudadanos a los Servicios Públicos". *Boletín oficial del Estado*. 24 de junio de 2007, nº 150, p. 27150-27166. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-12352>.
- España, 2007. "Ley 56/2007, de 28 de diciembre, de Medidas de Impulso de la Sociedad de la Información". *Boletín oficial del Estado*. 30 de diciembre de 2007, nº 312, p. 53701-53719. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-22440>.
- España, 2010. "Real Decreto 1791/2010, de 30 de diciembre, por el que se aprueba el Estatuto del Estudiante Universitario". *Boletín oficial del Estado*. 31 de diciembre de 2010, nº 318, p. 109353-109380. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-22440>.

España, 2011. "Ley 26/2011, de 1 de agosto, de adaptación normativa a la Convención Internacional sobre los Derechos de las Personas con Discapacidad". *Boletín oficial del Estado*. 2 de agosto de 2011, nº 184, p. 87478-87494. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2011-13241>.

España, 2012. "Resolución de 3 de septiembre de 2012, de la Dirección General de Industria y de la Pequeña y Mediana Empresa, por la que se publica la relación de normas UNE aprobadas por AENOR durante el mes de julio de 2012". *Boletín oficial del Estado*. 2 de octubre de 2012, nº 237, p. 70038-70043. Disponible en: [https://www.boe.es/eli/es/res/2012/09/03/\(5\)](https://www.boe.es/eli/es/res/2012/09/03/(5)).

España, 2013. "Real Decreto Legislativo 1/2013, de 29 de noviembre, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Ley General de derechos de las personas con discapacidad y de su inclusión social". *Boletín oficial del Estado*. 3 de diciembre de 2013, nº 289, p. 95635-956734. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2013-12632>.

España, 2014. "Real Decreto 126/2014, de 28 de febrero, por el que se establece el currículo básico de la Educación Primaria". *Boletín oficial del Estado*. Nº 52 (1 de marzo). Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2014/02/28/126/con>.

España, 2015. "Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato". *Boletín oficial del Estado*. Nº 3 (3 de enero). Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2014/12/26/1105/con>.

España, 2018. "Real Decreto 1112/2018, de 7 de septiembre, sobre accesibilidad de los sitios web y aplicaciones para dispositivos móviles del sector público". *Boletín oficial del Estado*. Nº 227 (19 sept.). Disponible en: <https://www.boe.es/eli/es/rd/2018/09/07/1112>.

ETSI, 2015. *EN 301 549: accessibility requirements suitable for public procurement of ICT products and services in Europe*. v1.1.2 (2015). Brussels: CEN ; CENELEC ; ETSI. Disponible en: https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/301500_301599/301549/01.01.02_60/en_301549v010102p.pdf.

ETSI, 2018. *ETSI EN 301 549 accessibility requirements for ICT products and services*. European Telecommunications Standards Institute. Disponible en: https://www.etsi.org/deliver/etsi_en/301500_301599/301549/02.01.02_60/en_301549v020102p.pdf.

European Commission, 2019. *Accessibility: essential for some, useful for all*. Disponible en: <https://ec.europa.eu/digital-single-market/en/news/accessibility-essential-some-useful-all>.

- Evans, J.R.; Fletcher, A.E.; Wormald, R.P.L., 2004. "Causes of visual impairment in people aged 75 years and older in Britain: an add-on study to the MRC trial of assessment and management of older people in the community". *British journal of ophthalmology*. Vol. 88, issue 3, p. 365-370.
<http://dx.doi.org/10.1136/bjo.2003.019927>.
- Evergreen, Stephanie; Emery Ann, 2018. *Presenting data effectively: communicating your findings for maximum impact*. Thousand Oaks, California: SAGE.
- Evergreen, Stephanie; Emery, Ann., 2018. "Data visualization checklist". En: *Presenting data effectively*. Thousand Oaks, California: SAGE. ISBN 9781506353128.
- Evergreen, Stephanie; Metzner, Chris, 2013. "Design principles for data visualization in evaluation". In Azzam T.; Evergreen, S. (eds.). *Data visualization, part 2. New directions for evaluation*, no. 140, p. 5-20.
- Evergreen, Stephanie, 2020. "Rate my visualization", En: *Evergreendata: intentional reporting & data visualization*. Disponible en: <http://stephanieevergreen.com/rate-your-visualization/>.
- Evreinova, Tatiana Grigori; Raisamo, Roope; Vesterinen, Leena, 2008. "Non-visual interaction with graphs assisted with directional-predictive sounds and vibrations: a comparative study". *Universal access in the information society*, Vol. 7, issue 1-2, p. 93-102. <https://doi.org/10.1007/s10209-007-0105-9>.
- Fariñas Falcón, Zoila; Hernández Camacho, Amarilis; Álvarez Romero, Silvia, 2017. "Nistagmo y baja visión". *Mediocentro electrónica*. Vol. 21, no. 1. Disponible en: <http://medicentro.sld.cu/index.php/medicentro/article/view/2040>.
- Farrelly, Glen, 2011. "Practitioner barriers to diffusion and implementation of web accessibility". *Technology and disability*. Vol. 23, no. 4, p. 223-232.
<https://doi.org/10.3233/TAD-2011-0329>.
- Ferraz, Reinaldo, 2017. "Accessibility and search engine optimization on scalable vector graphics". En: *4th IEEE International Conference on Soft Computing and Machine Intelligence*, p. 94-98. <https://doi.org/10.1109/ISCFMI.2017.8279605>.
- Ferres, Leo; Verkhogliad, Petro; Lindgaard, Gitte; Boucher, Louis ; Chretien, Antoine ; Lachance, Martin, 2007. "Improving accessibility to statistical graphs: the InspectGraph system". En: *Proceedings of the 9th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility, ASSETS 2007*, p. 67-74.
<https://doi.org/10.1145/1296843.1296857>.
- Ferres, Leo; Lindgaard, Gitte; Sumegi Livia; Tsuji, Bruce, 2010. "Evaluating a tool for improving accessibility to charts and graphs". *ACM Transactions on computer-human interaction*. Vol. 20, issue 5. <https://doi.org/10.1145/2533682.2533683>.

- Feria, Manuel, 2010. "Consejos para la confección de gráficos científicos". *Cuadernos de la Fundación Dr. Antonio Esteve*. Nº 20, p. 45-56. Disponible en: <https://raco.cat/index.php/QuadernsFDAE/article/view/253627>.
- Fernández, Natalia; Ibarra, Paula, 2012. "Variables tipográficas". *OERT: open educational resources for typography*. Disponible en: <http://www.oert.org/variables-tipograficas/>.
- Filepp, Robert; Challenger, James; Rosu, Daniela, 2002. "Improving the accessibility of aurally rendered HTML tables". En: *Assets '02: Proceedings of the fifth international ACM conference on Assistive technologies*, p. 9-16. <https://doi-org/10.1145/638249.638254>.
- Fisher, Donald L.; Tan, Kay C., 1989. "Visual displays: the highlighting paradox". *Human factors*. Vol. 31, issue 1, p. 17-30. <https://doi.org/10.1177/001872088903100102>.
- Fisk, Arthur D., et al., 2004. *Designing for older adults: principles and creative human factors approaches*. Boca Raton [etc.]: CRC Press.
- Foasberg, Nancy M., 2014. "Student reading practices in print and electronic media". *College & research libraries*. Vol. 75, no. 5, p. 705-723. <https://doi.org/10.5860/crl.75.5.705>.
- Foti, Antonella; Santucci, G., 2009. "Increasing Web accessibility through an assisted color specification interface for colorblind people". *Interaction design and architecture(s) journal*. No. 5-6, p. 41-48. Disponible en: http://www.mifav.uniroma2.it/inevent/events/idea2010/doc/lxDEA_6_6.pdf
- Fousekis, Fotios S.; Katsanos, Andreas; Katsanos, Konstantinos H.; Christodoulou, Dimitrios K., 2020. "Ocular manifestations in celiac disease: an overview". *International ophthalmology*. Vol. 40, p. 1049-1054. <https://doi.org/10.1007/s10792-020-01327-2>.
- France, Tiffany, 2020. "Choosing fonts for your data visualization". *Nightingale: the Journal of the Data Visualization Society*. Disponible en: <https://medium.com/nightingale/choosing-a-font-for-your-data-visualization-2ed37afea637>.
- Franklin, Fernanda; Breyer, Felipe; Kelner, Judith, 2014. "Heurísticas de usabilidade para sistemas colaborativos remotos de realidade aumentada". En: *Proceedings of XVI Symposium on Virtual and Augmented Reality*, p. 53-62. Disponible en: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/11411>.
- Franklin, Keith M.; Roberts, Jonathan C., 2003. "Pie chart sonification". En: *Proceedings on Seventh International Conference on Information Visualization*. Los Alamitos, CA: IEEE, p. 4-9. <https://doi.org/10.1109/IV.2003.1217949>.

- Franzblau, Lauren E.; Chung, Kevin C., 2012. "Graphs, tables, and figures in scientific publications: the good, the bad, and how not to be the latter". *The journal of hand surgery*. Vol. 37, issue 3, p. 591-596. <https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2011.12.041>.
- Friel, Susan N.; Frances R. Curcio; and George W. Bright, 2001. "Making sense of graphs: critical factors influencing comprehension and instructional implications". *Journal for research in mathematics education*. Vol. 32, no. 2, p. 124-158. <https://doi.org/10.2307/749671>.
- Fritz, J. P.; Barner, K. E., 1999. "Design of a haptic data visualization system for people with visual impairments". *IEEE Transactions on rehabilitation engineering*. Vol. 7, issue 3, p. 372-384. <https://doi.org/10.1109/86.788473>.
- Fundación Vodafone España, 2013. *Acceso y uso de las TIC por las personas con discapacidad*. Madrid: Fundación Vodafone España. Disponible en: <http://fundacion.vodafone.es/fundacion/es/conocenos/difusion/publicaciones/publicaciones/acceso-y-uso-de-las-tic-por-las-personas-con/>.
- Ganayim, D.; Ibrahim, R., 2013. "How do typographical factors affect reading text and comprehension performance in Arabic?". *Human Factors*. Vol. 55, issue 2, p. 323-332. <https://doi.org/10.1177/0018720812452302>.
- Gao, Jinglun; Zhou, Yin; Barner, Kenneth, 2012. *Making information graphics accessible for visually impaired individuals*. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/61cd/ae1d985cb9fa08600220eb94523b470813da.pdf>.
- Gao, Jinglun; Zhou, Yin; Barner, Kenneth E., 2012. "VIEW: visual information extraction widget for improving chart images accessibility". En: *19th IEEE International Conference on Image Processing Image Processing (ICIP)*, p. 2865-2868. <https://doi.org/10.1109/ICIP.2012.6467497>.
- García Aguado, Jaime; Sánchez Ruiz-Cabello, Francisco J.; Colomer Revuelta, Julia, et al., 2016. "Valoración de la agudeza visual". *Revista pediátrica de atención primaria*. Vol. 18, nº 71 (jul./sept.). Disponible en: <http://ref.scielo.org/7f7q5k>.
- Gardner, John, 2014. "Can mainstream graphics be accessible?". *Information technology and disabilities*. Vol. XIV, no. 1. <http://itd.athenpro.org/volume14/number1/gardner.html>.
- Gies, Ted, 2018. "The ScienceDirect accessibility journey: a case study". *Learned publishing*, Vol. 31, issue 1, p. 69-76. <https://doi.org/10.1002/leap.1142>.

- Goble, Carole; Harper, Simon; Stevens, Robert, 2000. "The travails of visually impaired Web travellers". En: *HYPERTEXT '00: Proceedings of the eleventh ACM on Hypertext and hypermedia*. San Antonio, Texas, p. 1-10.
<https://doi.org/10.1145/336296.336304>.
- Gómez-Ulla de Irazazábal, Franciso; Ondategui-Parra, Silvia, 2012. *Informe sobre la ceguera en España*. Fundación Retinaplus+; Ernst & Young.
- Goncu, Cagatay; Marriott, Kim; Hurst, John, 2010. "Usability of accessible bar charts". En: *International Conference on Theory and Application of Diagrams, Diagrammatic Representation and Inference*, p. 176-181. https://doi.org/10.1007/978-3-642-14600-8_17.
- González-Perea, Lourdes, 2018. "La accesibilidad de los medios de comunicación digitales en España: responsabilidad de los periodistas en la generación de contenidos inclusivos". *Index comunicación: revista científica de comunicación aplicada*. Vol. 8, nº 1, p. 225-253. Disponible en:
<https://journals.sfu.ca/indexcomunicacion/index.php/indexcomunicacion/article/view/396>.
- González, María-Paula; Pascual, Afra; Lorés, Jesús, 2001. "Evaluación heurística". En: *Introducción a la interacción persona-ordenador*. AIPO, Asociación Interacción Persona-Ordenador. Disponible en: <https://aipo.es/libro/pdf/15-Evaluacion-Heuristica.pdf>.
- Gould, Bryan; O'Connell, Trisha; Freed, Geoff, 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. Disponible en:
http://ncam.wgbh.org/experience_learn/educational_media/stemdx.
- Granollers, Toni, 2004. *MPlu+a: una metodología que integra la ingeniería del software, la interacción persona-ordenador y la accesibilidad en el contexto de equipos de desarrollo multidisciplinarios*. Tesis de doctorado, Universitat de Lleida, Departament d'Informàtica i Enginyeria Industrial. Disponible en:
<http://hdl.handle.net/10803/8120>.
- Grant Maria J.; Booth Andrew, 2009. "A typology of reviews: an analysis of 14 review types and associated methodologies". *Health information and libraries journal*. Vol. 26, issue 2, p. 91-108. <https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2009.00848.x>.

Greenbacker, Charles F.; Wu, Peng; Carberry, Sandra; McCoy, Kathleen F.; Elzer, Stephanie; McDonald, David D.; Chester, Daniel; Demir, Seniz, 2011. "Improving the accessibility of line graphs in multimodal documents". En: *Proceedings of the 2nd Workshop on Speech and Language Processing for Assistive Technologies*, p. 52-62. Disponible en: <https://www.aclweb.org/anthology/W11-2306>.

Gretchen, Maria Culp, 2012. "Increasing accessibility for map readers with acquired and inherited colour vision deficiencies: a re-colouring algorithm for maps". *The cartographic journal*, Vol. 49, issue 4, p. 302-311. <https://doi.org/10.1179/1743277412Y.0000000030>.

Guarino Reid, Loretta; Snow-Weaver, Andi, 2009. "WCAG 2.0 for designers: beyond screen readers and captions". En: Stephanidis, C. (eds). *Universal Access in Human-Computer Interaction. Applications and Services. UAHCI 2009. Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 5616. Springer, Berlin, Heidelberg, p 674-682. https://doi.org/10.1007/978-3-642-02713-0_71.

Gutiérrez-Restrepo, Mary Luz Emmanuelle, 2017. *Accesibilidad no intrusiva en la comunicación audiovisual en la web*. Tesis de doctorado, Universidad Complutense de Madrid, Facultad de Ciencias de la Información. Disponible en: <https://eprints.ucm.es/42257/>.

Hallett, Elyse C.; Arnsdorff, Blake; Sweet, John; Roberts, Zach; Dick, Wayne; Jewett, Tom; Vu, Kim-Phuong, 2015. "The usability of magnification methods: a comparative study between screen magnifiers and responsive web design". En: Yamamoto, S. (ed.). *Human Interface and the Management of Information: information and Knowledge Design. Lecture Notes in Computer Science*. Vol. 9172, p. 181-189. https://doi.org/10.1007/978-3-319-20612-7_18.

Hanson, Vicki L.; Richards, John, 2004. "The user experience: designs and adaptations". En: *ASSETS'04*, Atlanta, Georgia, USA.

Harland Gordon, Stephen; Legge, Gordon E.; Luebker, Andrew, 1998. "Psychophysics of reading – XVII Low-vision performance with four types of electronically magnified text". *Optometry and vision science*. Vol. 75, no. 3, p. 183-190. <https://doi.org/10.1.1.5.7130>.

Harley, Linda; Kline, Keith; Price, Chandler; Jones, Adrienne; Mosley, Shaun; Farmer, Sarah; Fain, Brad, 2013. *A web based voting application study of display layouts for older adult voters with arthritis*. Information Technology and Innovation Foundation Accessible Voting Technology. Working Paper Series, 12. Initiative. Disponible en: <http://elections.itif.org/wp-content/uploads/AVTI-012-GTRI-DisplayLayouts-2013.pdf>.

- Harvey, Hannah; Walker, Robin, 2014. "Reading with peripheral vision: a comparison of reading dynamic scrolling and static text with a simulated central scotoma". *Vision research*. Vol. 98, p. 54–60. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2014.03.009>.
- Healey, Christopher G.; Enns, James T., 2012. "Attention and visual memory in visualization and computer graphics". *IEEE transactions on visualization and computer graphics*. Vol 18, no. 7, p. 1170–1188. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2011.127>.
- Helander, Martin (ed.), 1991. *Handbook of human-computer interaction*. 2nd ed. North-Holland [etc.]: Elsevier.
- Henry, Shawn Lawton, 2007. *Just ask: integrating accessibility throughout design*. [S.l.]: Lulu.com. Disponible en: <http://www.uiaccess.com/justask/es/>.
- Henry, Shawn Lawton, 2012. "Developing text customisation functionality requirements of PDF reader and other user agents". En: *ICCHP 2012: Computers Helping People with Special Needs*, p. 602-609. https://doi.org/10.1007/978-3-642-31522-0_91.
- Henry, Shawn Lawton; Abou-Zahra, Shadi; Brewer, Judy, 2014. "The role of accessibility in a universal web". En: *W4A '14: Proceedings of the 11th Web for All Conference*, p. 1-4. <https://doi.org/10.1145/2596695.2596719>.
- Henry, Shawn Lawton; Abou-Zahra, Shadi; White, Kevin, 2016. *Accessibility, usability, and inclusion*. W3C. Disponible en: <https://www.w3.org/WAI/fundamentals/accessibility-usability-inclusion/>.
- Henry, Shawn Lawton, 2021. *W3C accessibility standards overview*. Disponible en: <https://www.w3.org/WAI/standards-guidelines/>.
- Herman, Ivan; Dardailler, Daniel, 2002. "SVG linearization and accessibility". *Computer graphics forum*. Vol. 21, issue 4, p. 777-786. <https://doi.org/10.1111/1467-8659.00635>.
- Hermawati, Setia; Lawson, Glyn, 2015. "A user-centric methodology to establish usability heuristics for specific domains". En: *Proceedings of the International Conference on Ergonomics & Human Factors*, p. 80-85. <https://doi.org/10.1201/b18293>.
- Hermawati, Setia; Lawson, Glyn, 2016. "Establishing usability heuristics for heuristics evaluation in a specific domain: is there a consensus?". *Applied Ergonomics*. Vol. 56, p. 34-51. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2015.11.016>
- Hewett, Thomas T.; Baecker, Ronald, 1992. *ACM SIGCHI curricula for human-computer interaction*. New York: Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/2594128>.

- Huang Chang-Quan, Dong, Bi-Rong; Lu, Zhen-Chan; Yue Ji-Rong, Liu, Qing-Xiu, 2010. "Chronic diseases and risk for depression in old age: a meta-analysis of published literature". *Ageing research reviews*. Vol. 9, no. 2, p. 131-141. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2009.05.005>.
- Hub, Miloslav; Čapková, Věra, 2010. "Heuristic evaluation of usability of public administration portal". En: *Proceedings of the International Conference on Applied Computer Science*, p. 234-239.
- Hunt, K., 2004. The challenges of integrating data literacy into the curriculum in an undergraduate institution. *IASSIST quarterly*. Vol. 28, no. 2-3, p. 12-15. Disponible en: http://www.iassistdata.org/downloads/iqvol282_3hunt.pdf.
- IBSA (2011). "IBSA Medical Classification". En: *International Blind Sports Federation*. Disponible en: <https://web.archive.org/web/20110811060928/http://www.ibsa.es/docinteres/HTM/MedicalClassification.htm>.
- Ichikawa, Manabu, et al., 2003. "Web-page color modification for barrier-free color vision with genetic algorithm". En: Cantú-Paz E., et al. (eds). *Genetic and Evolutionary Computation – GECCO 2003. Lecture notes in computer science*. Vol 2724. Springer, Berlin, Heidelberg, p. 2134–2146. https://doi.org/10.1007/3-540-45110-2_109.
- Iglesias, Rosa; Casado, Sara; Gutierrez, Teresa; Barbero, J. I.; Avizzano, Carlos Alberto; Marcheschi, Simone; Bergamasco, M., 2004. "Computer graphics access for blind people through a haptic and audio virtual environment". En: *Proceedings. Second International Conference on Creating, Connecting and Collaborating through Computing*, p. 13-18. <https://doi.org/10.1109/HAVE.2004.1391874>.
- IMS Global Learning Consortium, 2003. *IMS guidelines for developing accessible learning applications*. Disponible en: <https://www.msglobal.org/accessibility/accessiblevers/sec5.html>.
- Ina, Satoshi, 1996. "Computer graphics for the blind". *ACM SIGCAPH Computers and the Physically Handicapped*, 5, p. 16-23. <https://doi.org/10.1145/231674.231677>.
- INE, 1996. *Clasificación de discapacidades (personas de 6 y más años)*. Disponible en: <https://www.ine.es/daco/daco42/discapa/tarb.pdf>.
- INE, 2008. *Encuesta sobre discapacidades, autonomía personal y situaciones de dependencia*. Madrid: Instituto Nacional de Estadística. Disponible en: https://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176782&menu=resultados&secc=1254736194716&idp=1254735573175.

- Inostroza, Rodolfo; Rusu, Cristian; Roncagliolo, Silvana; Rusu, Virginica, 2013. "Usability heuristics for touchscreen-based mobile devices: update". En: *Proceedings of the 2013 Chilean Conference on Human-Computer Interaction*, p. 24-29.
<https://doi.org/10.1145/2535597.2535602>
- ISO, 1998. *ISO 9241-11:1998 Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) – Part 11: Guidance on usability*. Geneve: ISO.
- ISO, 2003. *ISO/TS 16071:2003 Ergonomics of human-system interaction – Guidance on accessibility for human-computer interfaces*. Geneve: ISO.
- ISO, 2008. *ISO 9241-171:2008 Ergonomics of human-system interaction – Part 171: Guidance on software accessibility*. Geneve: ISO.
<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-171:ed-1:v1:en>.
- ISO, 2012. *ISO/IEC 40500:2012 Information technology – W3C Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0*. Geneve: ISO.
- ISO, 2018. *ISO 9241-11:2018 Ergonomics of human-system interaction – Part 11: Usability: definitions and concepts*. Geneve: ISO.
- Jacko, Julie A.; Barreto, Armando B.; Marmet, Gottlieb J.; Chu, Josey Y.; Bautsch, Holly S.; Scott, Ingrid U.; Rosa, Robert H., 2000. "Low vision: the role of visual acuity in the efficiency of cursor movement". En: *Assets '00: Proceedings of the fourth international ACM conference on Assistive technologies*. Arlington, Virginia, USA, p. 1–8. <https://doi.org/10.1145/354324.354327>.
- Jefferson, Luke; Harvey, Richard, 2006. "Accommodating color blind computer users". En: *Assets '06: Proceedings of the 8th international ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, p. 40-47. <https://doi.org/10.1145/1168987.1168996>.
- Jensen, Cary; Andersen, Loy, 1992. *Harvard graphics 3: manual de referencia*. Madrid: McGraw-Hill/Interamericana de España.
- Jiménez, Cristhy; Allende-Cid, Hector; Figueroa, Ismael, 2017. "PROMETHEUS: PROcedural METHodology for developing HEuristics of Usability". *IEEE Latin America transactions*. Vol. 15, no. 3, p. 541-549.
<https://doi.org/10.1109/TLA.2017.7867606>.
- Johnson, Graham I.; Clegg, Chris; Ravden, Susannah J., 1989. "Towards a practical method for user interface evaluation". *Applied ergonomics*. Vol. 20, no. 4, p. 255-260. [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(89\)90187-7](https://doi.org/10.1016/0003-6870(89)90187-7).
- Joyce, Alita, 2019. "Tooltip Guidelines". *NN/g Nielsen Norman Group. Articles*.
<https://www.nngroup.com/articles/tooltip-guidelines>.

- Joyce, Ger; Lilley, Mariana, 2014. "Towards the development of usability heuristics for native smartphone mobile applications". En: *Third International Conference, DUXU 2014 Held as Part of HCI International 2014. Design, user experience, and usability theories, methods, and tools for designing the user experience*, p. 465-474.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-07668-3_45.
- Kallimani Jagadish S.; Srinivasa K. G.; Eswara Reddy B., 2013. "Extraction and interpretation of charts in technical documents". En: *Proceedings of the 2013 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics, ICACCI 2013*, p. 382-387.
<https://doi.org/10.1109/ICACCI.2013.6637202>.
- Kelly, Brian; Sloan, David; Brown, Stephen; Seale, Jane; Petrie, Helen; Lauke, Patrick; Ball, Simon, 2007. "Accessibility 2.0: people, policies and processes". En: *W4A '07: Proceedings of the 2007 international cross-disciplinary conference on Web accessibility (W4A)*, p. 138-147. <https://doi.org/10.1145/1243441.1243471>.
- Kelly, Brian; Sloan, David; Brown, Stephen; Seale, Jane; Lauke, Patrick; Ball, Simon; Smith, Stuart, 2009. "Accessibility 2.0: next steps for web accessibility. *Journal of access services*. Vol. 6, issue 1-2, p. 265-294.
<https://doi.org/10.1080/15367960802301028>
- Kennel, Andrea R., 1996. "Audiograf: a diagram-reader for the blind". En: *2nd Annual ACM Conference on Assistive Technologies*, p. 51-56.
<https://doi.org/10.1145/228347.228357>.
- Kim; Meen Chul; Zhu, Yongjun; Chen, Chaomei, 2016. "How are they different? a quantitative domain comparison of information visualization and data visualization (2000–2014)". *Scientometrics*. No. 107, p. 123-165.
<https://doi.org/10.1007/s11192-015-1830-0>.
- Kitchel, J. Elaine, 2019. *APH Guidelines for print document design*. APH. Disponible en: <https://www.aph.org/aph-guidelines-for-print-document-design/>.
- Knaflic, Cole Nussbaumer, 2015. *Storytelling with data: a data visualization guide for business professionals*. New Jersey: Wiley.
- Knoblauch, K.; Arditi, Aries; Szlyk, J., 1991. "Effects of chromatic and luminance contrast on reading". *Journal of the Optical Society of America*. Vol. 8, no. 2, p. 428-439.
<https://doi.org/10.1364/josaa.8.000428>.
- Koivunen, Marja-Riitta; McCathieNevile, Charles, 2001. *Accessible graphics and multimedia on the Web*. World Wide Web Consortium (W3C)/MIT. Disponible en: <https://www.w3.org/2001/05/hfweb/heuristics.htm>.

- Kouroupetroglou, Georgios; Tsonos, Dimitrios, 2008. "Multimodal accessibility of documents". En: Pinder, Shane (ed.). *Advances in human-computer interaction*. Vienna: I-Tech Education and Publishing, p. 451-470. <https://doi.org/10.5772/5916>.
- Kramer, Gregory, 1994. *Auditory display: sonification, audification, and auditory interfaces*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Kremers, Jan; Baraas, Rigmor C.; Marshall, N. Justin, 2016. *Human color vision*. Berlin: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-44978-4>.
- Krufka, S.; Barner K., 2006. "A user study on tactile graphic generation methods". *Behaviour and information technology*. Vol. 25, issue 4, p. 297-311. <https://doi.org/10.1080/01449290600636694>.
- Kulpa, Cíntia Costa; Teixeira, Fábio Gonçalves; da Silva, Régio Pierre, 2013. "A color model in the usability of computer interface applied to users with low vision". En: Marcus, A. (eds) *Design, User Experience, and Usability. Design Philosophy, Methods, and Tools. DUXU 2013*. Lecture Notes in Computer Science. Vol. 8012, p. 330-339. https://doi.org/10.1007/978-3-642-39229-0_36.
- Kuppusamy, K.S.; Leena, Mary Francis; Gnanasekaran, Aghila, 2012. "WILI – Web Interface for people with Low vision Issues". *International journal on computational sciences & applications*. Vol. 2, no. 2 (Apr.). <https://arxiv.org/abs/1204.5267>.
- Kurniawan, Sri H.; Zaphiris, Panayiotis, 2001. "Reading online or on paper: which is faster?". En: *Poster Sessions: Abridged Proceedings of HCI International 2001*. Disponible en: https://users.soe.ucsc.edu/~srikur/files/HCI_reading.pdf.
- Ladner, Richard E.; Ivory, Melody Y.; Rao, Rajesh; Burgstahler, Sheryl; Comden, Dan; Hahn, Sangyun; Renzelmann, Matthew; Krishandi, Satria; Ramasamy, Mahalakshmi; Slabosky, Beverly; Martin, Andrew; Lacenski, Amelia; Groce, Dmitri, 2005. "Automating tactile graphics translation". En: *Assets '05 Proceedings of the 7th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility*. New York, NY: ACM, p. 150-157. <https://doi.org/10.1145/1090785.1090814>.
- Laroche, Laurent, 1998. *Cirurgía de la catarata*. Barcelona: Masson.
- Larson, Kevin; Carter, Matthew, 2016. "Sitka: a collaboration between type design and science". En: Dyson, Mary C.; Suen Ching Y. *Digital fonts and reading*, p. 37-53). https://doi.org/10.1142/9789814759540_0003.
- Lazar, Jonathan; Dudley-Sponaugle, Alfreda; Greenidge, Kisha-Dawn, 2004. "Improving web accessibility: a study of webmaster perceptions". *Computers in human behavior*. Vol. 20, no. 2, p. 269-288. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2003.10.018>.

- Lazar, Jonathan; Allen, Aaron; Kleinman, Jason; Malarkey, Chris, 2007. "What frustrates screen reader users on the Web: a study of 100 blind users". *International journal of human-computer interaction*. Vol. 22, no. 3, p. 247-269.
<https://doi.org/10.1080/10447310709336964>.
- Lechner, Bettina; Fruhling, Ann; Petter, Stacie; Siy, Harvey, 2013. "The chicken and the pig: user involvement in developing usability heuristics". En: *19th Americas Conference on Information Systems, AMCIS 2013 - Hyperconnected World: Anything, Anywhere, Anytime*, p. 3263-3270.
- Legge, Gordon E.; Rubin, Gary S.; Pelli, Denis G.; Schleske, Mary M., 1985. "Psychophysics of Reading – ii. Low Vision". *Vision research*. Vol. 25, issue 2, p. 253-265.
[https://doi.org/10.1016/0042-6989\(85\)90118-X](https://doi.org/10.1016/0042-6989(85)90118-X).
- Legge, Gordon E.; Rubin, Gary S.; Luebker, Andrew, 1987. "Psychophysics of reading – V. The role of contrast in normal vision". *Vision reserch*. Vol. 27, issue 7, p. 1165-1177.
[https://doi.org/10.1016/0042-6989\(87\)90028-9](https://doi.org/10.1016/0042-6989(87)90028-9).
- Legge, Gordon E., 2006. *Psychophysics of reading*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Legge, Gordon E., 2016. "Reading digital with low vision". *Visible language*. Vol. 50, no. 2, p. 102-125. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5726769/>.
- Leporini, Barbara; Paternò, Fabio, 2004. "Increasing usability when interacting through screen readers". *Universal access in the information society*. Vol. 3, no. 1, p. 57-70.
<https://doi.org/10.1007/s10209-003-0076-4>.
- Leporini, Barbara; Paternò, Fabio, 2008. "Applying web usability criteria for vision-impaired users: Does it really improve task performance?". *International journal of human-computer interaction*. Vol. 24, issue 1, p. 17-47.
<https://doi.org/10.1080/10447310701771472>.
- Likert, Rensis, 1932. "A technique for the measurement of attitudes". *Archives of psychology*. Vol. 22, no. 140, p. 1-55.
- Lopes, Rui; Van Isacker, Karel; Carriço, Luis, 2010. "Redefining assumptions: accessibility and its stakeholders. En: *Proceedings of the 12th International Conference on Computers Helping People with Special Needs, Vienna, Austria*. Springer-Verlag. p. 561-568. https://doi.org/10.1007/978-3-642-14097-6_90.
- Lundgard, Alan; Lee, Crystal; Satyanarayan, Arvind, 2019. "Sociotechnical considerations for accessible visualization design". En: *2019 IEEE Visualization Conference (VIS)*, p. 16-20. <https://doi.org/10.1109/VISUAL.2019.8933762>.

- Lunn, R.; Banks, W.P., 1986. "Visual fatigue and spatial frequency adaptation to video displays of text". *Human Factors*, Vol. 28, no. 4, p. 457-464.
<https://doi.org/10.1177/001872088602800407>.
- Lunn, Darren; Harper, Simon; Bechhofer, Sean, 2011. "Identifying behavioral strategies of visually impaired users to improve access to Web content". *ACM transactions on accessible computing*. Vol. 3, issue 4, article 13.
<https://doi.org/10.1145/1952388.1952390>.
- Mace, Ronald L.; Graeme, J. Hardie; Place, Jaine P., 1991. "Accessible environments: toward universal design". En: Preiser, W.E.; Vischer, J.C.; White, E.T. (eds.). *Design Intervention: toward a more humane architecture*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- MacEachren, Alan M., 1992. "Visualizing uncertain information". *Cartographic perspective*. Vol. 13, p. 10-19. <https://doi.org/10.14714/CP13.1000>.
- MacEachren, Alan M., 1995. *How maps work: representation, visualization, and design*. New York [etc.]: Guilford.
- Mackinlay, Jock, 1986. "Automating the design of graphical presentations of relational information". *ACM transactions on graphics (TOG)*. Vol. 5, issue 2, p. 110-141.
<https://doi.org/10.1145/22949.22950>.
- Mahmood, Aqsa, Sarwar, Imran Sarwar; Qazi, Kiran, 2014. "An automated approach for interpretation of statistical graphics". En: *Proceedings, 6th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics, IHMSC 2014*, p. 376-379.
<https://doi.org/10.1109/IHMSC.2014.192>.
- Malacara, Daniel, 2002. *Color vision and colorimetry: theory and applications*. Bellingham, WA: SPIE Press.
- Mankoff, Jennifer; Dey, Anind K.; Hsieh, Gary; Kientz, Julie, Lederer, Scott; Ames, Morgan, 2003. "Heuristic evaluation of ambient displays". En: *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, p. 169-176.
<https://doi.org/10.1145/642611.642642>.
- Mansfield, J.S.; Legge, G.E.; Bane, M.C., 1996. "Psychophysics of reading XV: Font effects in normal and low vision". *Investigative ophthalmology and visual science*. Vol. 37, no. 8, p. 1492-1501. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8675391/>.
- Marcotte, Ethan, 2011. *Responsive web design*. New York: A Book Apart.
- Masip, Llúcia; Oliva, Marta; Granollers, Toni, 2012. "The open repository of heuristics". En: *Proceedings of the 13th International Conference on Human-Computer Interaction*, p. 1-2. <http://doi.acm.org/10.1145/2379636.2379640>.

- McGookin, David K.; Brewster, Stephen A., 2006. "Soundbar: exploiting multiple views in multimodal graph browsing". En: *4th Nordic Conference on Human-Computer Interaction*, p. 145-154. <https://doi.org/10.1145/1182475.1182491>.
- Meeks, Elijah; Cesal, Amy; Pettit, Mollie, 2019. "Introducing the Data Visualization Society". *Nightingale: the Journal of the Data Visualization Society*. Disponible en: <https://medium.com/datavisualization-society/introducing-the-data-visualization-society-d13d42ab0bec>.
- Mi, Na; Cavuoto, Lora A.; Benson, Kenneth; Smith-Jackson, Tonya; Nussbaum, Maury A., 2014. "Heuristic checklist for an accessible smartphone interface design". *Universal access in information society*. Vol. 13, no. 4, p. 351-365. <https://doi.org/10.1007/s10209-013-0321-4>.
- Miele, J. A. ; Marston, J., 2005. "Tactile map automated production (TMAP): project update and research summary". En: *CSUN International Technology and Persons with Disabilities Conference*, p. 14-19.
- Miller, Steven; Hughes Debbie, 2017. "The quant crunch: how the demand for data science skills is disrupting the job market". *Burning Glass Technologies*. Boston, Massachusetts. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8675391><http://hdl.voced.edu.au/10707/429131>.
- Mirri, Silvia; Prandi, Catia; Salomoni, Paola, 2013. "Experiential adaptation to provide user-centered Web content personalization. En: *Proceedings of the 6th International Conference on Advances in Human oriented and Personalized Mechanisms, Technologies, and Services – CENTRIC '13*, p. 31-36. Disponible en: <http://www.cs.unibo.it/~mirri/paper/centric2013.pdf>.
- Mittal, Vibhu O.; Carenini, Giuseppe; Moore, Johanna D.; & Roth, Steven, 1998. "Describing complex charts in natural language: a caption generation system". *Computational linguistics*. 34, p. 431-468.
- Molich, Rolf; Nielsen, Jakob, 1990. "Improving a human-computer dialogue". *Communications of the ACM*. Vol. 33, issue 3, p. 338-348. <https://doi.org/10.1145/77481.77486>.
- Monteiro de Carvalho, Keila Miriam, et al., 1992. *Visão subnormal: orientações ao professor do ensino regular*. Campinas: Unicamp.
- Morash. Valerie S.; Russomanno, Alexander; Gillespie, R. Brent; O'Modhrain Sile, 2017. "Evaluating approaches to rendering Braille text on a high-density pin display". *EEE transactions on haptics*, Vol. 11, issue 3, p. 476-481. <https://doi.org/10.1109/TOH.2017.2762666>.

- Moreno, Lourdes; Martínez, Paloma; Ruiz-Mezcua, Belen, 2009. "A bridge to web accessibility from the usability heuristics". En: Holzinger, A.; Miesenberger, K. (eds). *HCI and Usability for e-Inclusion. USAB 2009. Lecture Notes in Computer Science 5889*. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-10308-7_20.
- Moreno, Lourdes; Valencia, Xabier; Pérez, J. Eduardo; Arrue, Myriam, 2018. "Exploring the Web navigation strategies of people with low vision". En: *Proceedings of the XIX International Conference on Human Computer Interaction (Interacción 2018)*, p. 1-8. <https://doi.org/10.1145/3233824.3233845>.
- Moreno, Lourdes; Valencia, Xabier; Pérez, J. Eduardo; Arrue, Myriam, 2020. "An exploratory study of web adaptation techniques for people with low vision". *Universal access in the information society*. <https://doi.org/10.1007/s10209-020-00727-6>.
- Naciones Unidas. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. División de Población, 2017. *World population prospects 2017 data booklet*. Disponible en: https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2017_DataBooklet.pdf.
- Nas, Gerard L.J., 1988. "The effect on reading speed of word divisions at the end of a line". En: van der Veer, G.C.; Mulder, G. (eds.). *Human-computer interaction: psychonomic aspects*. Berlin: Springer-Verlag, p. 125-143. https://doi.org/10.1007/978-3-642-73402-1_9.
- National Eye Institute, 2019. "Catarata". En: *Eye conditions and diseases*. Disponible en: <https://www.nei.nih.gov/learn-about-eye-health/eye-conditions-and-diseases/cataracts>.
- National Library of Medicine, 2020a. "Visual field". En: *Medical encyclopedia*. Bethesda, MD: U.S. National Library of Medicine. Disponible en: <https://medlineplus.gov/ency/article/003879.htm>.
- National Library of Medicine 2020b. "Glaucoma". En: *Enciclopedia médica*. Bethesda, MD: U.S. National Library of Medicine. Disponible en: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/001620.htm>.
- National Library of Medicine, 2020c. "Diabetes and eye disease". En: *Medical encyclopedia*. Bethesda, MD: U.S. National Library of Medicine. Disponible en: <https://medlineplus.gov/ency/article/001212.htm>
- Nazemi, Azadeh; Murray, Lain, 2013. "A method to provide accessibility for visual components to vision impaired". *International journal of human computer interaction (IJHCI)*. Vol. 4, issue 1, p. 54-69. Disponible en: <http://doras.dcu.ie/23008/>.

- Newman, Nic; Fletcher, Richard; Kalogeropoulous, A.; Nielsen, Rasmus Kleis, 2019. *Reuters Institute Digital news report 2019*. Oxford: Reuters Institute for the Study of Journalism. Disponible en: <https://www.digitalnewsreport.org/>.
- Nganji, Julius T., 2015, "The Portable Document Format (PDF) accessibility practice of four journal publishers". *Library & information science research*. Vol. 37, issue 3, p. 254-262. <https://doi.org/10.1016/j.lisr.2015.02.002>.
- Nielsen, Jakob; Molich, Rolf, 1990. "Heuristic evaluation of user interfaces". En: *CHI '90: proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, p. 249-256. <https://doi.org/10.1145/97243.97281>.
- Nielsen, Jakob, 1992. "Finding usability problems through heuristic evaluation". En: *Proceedings ACM CHI'92 Conference*, p. 373-380. <https://doi.org/10.1145/142750.142834>.
- Nielsen, Jakob; Landauer, Thomas K., 1993. "A mathematical model of the finding of usability problems". En: *Proceedings ACM/IFIP INTERCHI'93 Conference*, p. 206-213. <https://doi.org/10.1145/169059.169166>.
- Nielsen, Jakob, 1994a. "How to conduct a heuristic evaluation". *Nielsen Norman Group. Blog*. Disponible en: <https://www.nngroup.com/articles/how-to-conduct-a-heuristic-evaluation/>.
- Nielsen, Jakob, 1994b. "Enhancing the explanatory power of usability heuristics". En: *CHI '94: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, p. 152-158. <https://doi.org/10.1145/191666.191729>.
- Nielsen, Jakob; Mack, Robert L., 1994. *Usability inspection methods*. New York: John Wiley and Sons.
- Nielsen, Jakob, 1995. "Severity ratings for usability problems". *Nielsen Norman Group. Articles*. Disponible en: <https://www.nngroup.com/articles/how-to-rate-the-severity-of-usability-problems/>.
- Nielsen, Jakob, 2002. "Let users control font size". *Nielsen Norman Group. Articles*. Disponible en: <https://www.nngroup.com/articles/let-users-control-font-size/>.
- Nielsen, Jakob, 2005. "Accessibility is not enough". *Nielsen Norman Group. Articles*. Disponible en: <https://www.nngroup.com/articles/accessibility-is-not-enough/>.
- Nielsen, Jakob, 2012. "Serif vs. sans-serif fonts for HD screens". *Nielsen Norman Group. Articles*. Disponible en: <https://www.nngroup.com/articles/serif-vs-sans-serif-fonts-hd-screens/>.
- Nielsen, Jakob, 2015. "Legibility, readability, and comprehension: making users read your words". *Nielsen Norman Group. Articles*. Disponible en: <https://www.nngroup.com/articles/legibility-readability-comprehension/>.

- Nielsen, Rasmus Kleis; Fletcher, Richard; Newman, Nic; Brennen, J. Scott; Howard, Philip N., 2020. *Navigating the 'infodemic': how people in six countries access and rate news and information about coronavirus*. Oxford: Reuters Institute for the Study of Journalism. Disponible en: <https://reutersinstitute.politics.ox.ac.uk/infodemic-how-people-six-countries-access-and-rate-news-and-information-about-coronavirus>.
- Norman, Don, 1998. *The invisible computer: why good products can fail, the personal computer is so complex, and information appliances are the solution*. Cambridge (Mass.): MIT Press.
- Núñez, Jamie R.; Anderton, Christopher R.; Renslow, Ryan S., 2018. "Optimizing colormaps with consideration for color vision deficiency to enable accurate interpretation of scientific data". *PLOS one*. Vol. 13, issue 7. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199239>.
- Oduntan, Alabi Olalekan, 2005. "Prevalence and causes of low vision and blindness worldwide". *South African optometrist*. Vol. 64, no. 2, p. 44-54. <https://doi.org/10.4102/aveh.v64i2.214>.
- Okabe, Masataka; Ito, Kei, 2008. *Color universal design (CUD): how to make figures and presentations that are friendly to colorblind people*. <http://jfly.uni-koeln.de/color/>.
- Olson, Judy M.; Brewer, Cynthia A., 1997. "An evaluation of color selections to accommodate map users with color-vision impairments". *Annals of the Association of American Geographers*. Vol. 87, issue 1, p. 103-134. <https://doi.org/10.1111/0004-5608.00043>.
- ONCE (2020). "La discapacidad visual: características principales". En: *ONCE: déjanos ayudarte*. Disponible en: <https://www.once.es/dejanos-ayudarte/la-discapacidad-visual>.
- Paddison, Claire; Englefield, Paul, 2002. "Applying heuristics to perform a rigorous accessibility inspection in a commercial context". En: *ACM SIGCAPH computers and the physically handicapped*, p. 73-74. <https://doi.org/10.1145/960201.957228>.
- Paddison, Claire; Englefield Paul, 2004. "Applying heuristics to accessibility inspections". *Interacting with Computers*. Vol. 16, no. 3, p. 507-521. <https://doi.org/10.1016/j.intcom.2004.04.007>
- Parra-Valcarce, David, 2010. "La accesibilidad web en los cibermedios del Grupo Planeta a ambos lados del Atlántico: los casos de La Razón y El Tiempo". *Naveg@mérica: revista electrónica de la Asociación Española de Americanistas*. Nº 4, p. 1-13. Disponible en: <https://revistas.um.es/navegamerica/article/view/99961>.

Gráficos estadísticos para personas con baja visión:
desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

- Parra-Valcarce, David; Martínez-Arias, Santiago, 2018. *Tecnologías de la gestión periodística de la información digital: conceptos básicos*. Madrid: Los Autores. ISBN 9788409039821.
- Pascual, Afra, 2015. *Accesibilidad en entornos web interactivos: superación de las barreras digitales*. Tesis de doctorado. Universitat de Lleida. Departament d'Informàtica i Enginyeria Industrial. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10803/314581>.
- Paterson, Donald G.; Tinker, Miles, 1940. *How to make type readable*. Harper & Brothers Publishers.
- Pavazza, Sandra; Pap, Klaudio, 2012. "The alternative way of creating infographics using SVG technology". *Acta graphica*. Vol. 23, issue 1-2, p. 45-56. Disponible en: <http://www.actagraphica.hr/index.php/actagraphica/article/view/82/76>.
- Pawlak, V., 1986. "Ergonomic aspects of image polarity". *Behaviour & information technology*. Vol. 5, issue 4, p. 335-348. <https://doi.org/10.1080/01449298608914527>.
- Pearse, Noel, 2011. "Deciding on the scale granularity of response categories of Likert type scales: the case of a 21-point scale". *Electronic journal on business research methods*. Vol. 9, issue 2, p 159-171.
- PennState, 2019. "Image alt tag tips for HTML". En: *Accessibility and usability at Penn State*. Disponible en: <https://accessibility.psu.edu/images/imageshtml>.
- Pérez Dasilva, Jesús-Ángel; Meso Ayerdi, Koldobika; Mendiguren Galdospín, Terese, 2020. "Fake news y coronavirus: detección de los principales actores y tendencias a través del análisis de las conversaciones en Twitter". *El profesional de la información*. Vol. 29, nº 3. <https://doi.org/10.3145/epi.2020.may.08>.
- Pereira, Amanda F.; Coutinho, Flávio R. S., 2017. "Game accessibility guidelines for people with sequelae from macular chorioretinitis". *Entertainment computing*. Vol. 28, p. 49-58. <https://doi.org/10.1109/SBGames.2017.00019>.
- Perlman, Gary, 1997. "Practical usability evaluation". En: *CHI EA '97: CHI '97 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. Association for Computing Machinery, Atlanta, GA, p 168-169. <https://doi.org/10.1145/1120212.1120326>.
- Petrie, Helen; Hamilton, Fraser; King, Neil, 2004. "Tension, what tension?: website accessibility and visual design". En: *W4A '04: proceedings of the 2004 international cross-disciplinary workshop on Web accessibility*, p. 13-18. <http://doi.acm.org//10.1145/990657.990660>.

- Petrie, Helen; Kheir, Omar, 2007. "The relationship between accessibility and usability of websites. En: *CHI '07: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, ACM, New York, p. 397-406.
<http://doi.acm.org/10.1145/1240624.1240688>.
- Piepenbrock, Cosima; Mayr, Susanne; Mund, Iris; Buchner, Axel, 2013. "Positive display polarity is advantageous for both younger and older adults". *Ergonomics*. Vol. 56, issue 7, p. 1116–1124. <https://doi.org/10.1080/00140139.2013.790485>.
- Pilgrim, Mark., 2007. "The longdesc lottery". *The WHATWG blog*.
<https://blog.whatwg.org/the-longdesc-lottery>.
- Pontelli, Enrico; Gillan, Douglas; Xiong, W.; Saad, Emad; Gupta, Gopal; Karsh-mer, Arthur, 2002. "Navigation of HTML tables, frames, and XML fragments". In: *Assets '02: Proceedings of the fifth international ACM conference on Assistive technologies*, p. 25–32. <https://doi.org/10.1145/638249.638256>.
- Post, David L.; Greene, Frances A., 1986. "Color name boundaries for equally bright stimuli on a CRT: phase I". *Society for Information Display, digest of technical papers*, 86, p. 70-73.
- Postigo Angón, Yolanda; Pozo Municio, Juan Ignacio, 2000. "Cuando una gráfica vale más que 1000 datos: la interpretación de gráficas por alumnos adolescentes. *Journal for the study of education and development, infancia y aprendizaje*. Nº 90, p. 89-110. <https://doi.org/10.1174/021037000760087982>.
- Power, Christopher, 2013. "Navigating, discovering and exploring the web: strategies used by people with print disabilities on interactive websites". En: Kotzé, Paula, et al. (ed.). *Human Computer Interaction, INTERACT 2013*. (Lecture notes in computer science; vol. 8117), p. 667-684. https://doi.org/10.1007/978-3-642-40483-2_47.
- Power, Christopher; Freire, Andrçe; Petrie, Helen; Swallow, David, 2012. "Guidelines are only half of the story: accessibility problems encountered by blind users on the Web". En: *CHI '12: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, p. 433-442. <https://doi.org/10.1145/2207676.2207736>.
- Preece, Jenny, et al., 1994. *Human-computer interaction*. Madrid [etc.]: Prentice Hall.
- Quillen, David A., 1999. "Common causes of vision loss in elderly patients". *American family physician*, Vol. 60, issue 1, p. 99-108. Disponible en:
<https://www.aafp.org/afp/1999/0701/p99.html>.
- Quiñones, Daniela; Rusu, Cristian, Rusu, Virginica, 2018. "A methodology to develop usability/user experience heuristics". *Computer standards & interfaces*. Vol. 59, no. C, p. 109-129. <https://doi.org/10.1016/j.csi.2018.03.002>.

- Reinecke Katharina; Flatla David R.; Brooks, Christopher, 2016. "Enabling designers to foresee which colors users cannot see". En: *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '16)*. New York, NY: ACM, p. 2693-2704. <http://dx.doi.org/10.1145/2858036.2858077>.
- Radl, G.W., 1983. "Experimental investigations for optimal presentation mode and colours of symbols on the CRT screen". En: Grandjean, E.; Vigliani, E. (eds.). *Ergonomic aspects of visual display terminals*. London: Taylor & Francis.
- Ramloll, Rameshsharma; Yu, Wai; Brewster, Stephen Anthony; Ridel, Beate; Burtor, Mike; Dimigen, Gisela, 2000. "Constructing sonified haptic line graphs for the blind student: first steps". En: *Assets '00: Proceedings of the fourth international ACM conference on Assistive technologies*, p. 17-25. <https://doi.org/10.1145/354324.354330>.
- Rello, Luz; Pielot, Martin; Marcos, Mari-Carmen, 2016. "Make it big!: the effect of font size and line spacing on online readability". En: *Proceedings of the 2016 CHI conference on Human Factors in Computing Systems*, p. 3637-3648. <https://doi.org/10.1145/2858036.2858204>.
- Richards, John T.; Hanson, Vicky L., 2004. "Web accessibility: a broader view". En: *Proceedings of the 13th international conference on World Wide Web – WWW'04*. New York, USA, p. 72-79. <https://doi.org/10.1145/988672.988683>.
- Roa-Amaya, Matilde; Caldera-Serrano, Jorge, 2011. "Evaluación heurística de las sedes web de los medios digitales: El País y El Mundo". *Cuadernos de documentación multimedia*. Vol. 22, p. 28-150. https://doi.org/10.5209/rev_CDMU.2011.v22.38340.
- Rodríguez, Maritza-Miqueli; López-Hernández, Silvia M.; Rodríguez-Masó, Susana, 2016. "Baja visión y envejecimiento de la población". *Revista cubana de oftalmología*. Vol. 29, nº 3. <http://ref.scielo.org/7sm8wq>.
- Roethlein, Barbara Elizabeth, 1912. "The relative legibility of different faces of printing types". *The American journal of psychology*. Vol. 23, no. 1, p. 1–36. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/pdf/1413112.pdf>.
- Ross, Margaret, 2002. "Quality in web design for visually impaired users". *Software quality control*. Vol. 410, no. 4, p. 285-28. <https://doi.org/10.1023/A:1022185920401>.
- Rotard, Martin; Otte, Kerstin; Ertl, Thomas, 2010. "Exploring Scalable Vector Graphics for visually impaired users". En: *International Conference on Computers for Handicapped Persons*, p. 725-730. https://doi.org/10.1007/978-3-540-27817-7_108.

- Roth, Patrick; Kamel, Hesham; Petrucci Lori S.; Pun, Thierry, 2002. "A comparison of three nonvisual methods for presenting scientific graphs". *Journal of visual impairment and blindness*. Vol. 96, issue 6, p. 420-428.
<https://doi.org/10.1177/0145482X0209600605>.
- Royal National Institute of Blind, 2007. *Clear print guidelines from the Royal National Institute for Blind People*. Disponible en:
https://psncorp.com/Downloads/RNIB_Clear_Print_Guidelines.pdf
- Rubin, Gary S.; Feely, Mary; Perera, Sylvie; Ekstrom, Kathering; Williamson, Elizabeth, 2006. "The effect of font and line width on reading speed in people with mild to moderate vision loss". *Ophthalmic physiological optics: the journal of the college of optometrists*. Vol. 26, no. 6, p. 545-554. <https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.2006.00409.x>.
- Rubin, Jeffrey; Chisnell, Dana; Spool, Jared, 2008. *Handbook of usability testing: how to plan, design, and conduct effective tests*. Indianapolis, Ind.: John Wiley & Sons.
- Rudnick, A.L.; Kolers, P.A., 1984. "Size and case of type as stimuli in reading". *Journal of experimental psychology: human perception and performance*. Vol. 10, no. 2, p. 231-249. <https://doi.org/10.1037//0096-1523.10.2.231>.
- Russell-Minda, Elizabeth; Jutai, Jeffrey W.; Strong, J. Graham; Campbell, Kent A.; Gold, Deborah; Pretty, Lisa; Wilmot, Lesley, 2007. "The legibility of typefaces for readers with low vision: a research review". *Journal of visual impairment & blindness*. Vol. 101, no. 7, p. 402-415. <https://doi.org/10.1177/0145482X0710100703>.
- Rusu, Cristian; Roncagliolo, Silvana; Rusu, Virginica; Collazos, César A., 2011. "A methodology to establish usability heuristics". En: *Proceedings of the Fourth International Conference on Advances in Computer-Human Interactions, ACHI2011*, p. 59-62.
- Ryan Barbara, 2014. "Models of low vision care: past, present and future". *Clinical & experimental optometry*. Vol. 97, issue 3, p. 209-213.
<https://doi.org/10.1111/cxo.12157>.
- Sandnes, Frode Eika; Zhao, Anqi, 2015. „An interactive color picker that ensures WCAG2.0 compliant color contrast levels". *Procedia computer science*. Vol. 67, p. 87-94.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.09.252>.
- Salaverría, Ramón; Buslón, Nataly; López-Pan, Fernando; León, Bienvenido; López-Goñi, Ignacio; Erviti, María-Carmen, 2020. "Desinformación en tiempos de pandemia: tipología de los bulos sobre la Covid-19". *El profesional de la información*. Vol. 29, nº 3. <https://doi.org/10.3145/epi.2020.may.15>.

Sánchez Caballero, Matías, 2015. *Baja visión y tecnología de acceso a la información: guía de ayudas técnicas de bajo coste*. Granada: La Ciudad Accesible. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/0B3iK0itdBx97bjNuRWR6cFhq2M>.

Sanjines, Sena, 2018. *Does it make a difference? data visualizations and the use of research and evaluation reports*. Tesis de doctorado, University of Hawai'i, Manoa. Disponible en: <https://scholarspace.manoa.hawaii.edu/bitstream/10125/62374/2018-05-phd-sanjines.pdf>.

Sarsenbayeva, Zhanna; Van Berkel, Niels; Luo, Chu, Kostakos, Vassilis; Goncalves, Jorge, 2017. "Challenges of situational impairments during interaction with mobile devices". En: *Proceedings of the 29th Australian Conference on Computer-Human Interaction (OZCHI '17)*. ACM, New York, NY, USA, pp 477-481. <http://dx.doi.org/10.1145/3152771.3156161>.

Sauro, Jeff, 2013. "Rating the severity of usability problems". *MeasuringU*. Disponible en: <https://measuringu.com/ratingseverity>.

Sauro, Jeff; Lewis, James R., 2016. *Quantifying the user experience: practical statistics for user research*. Amsterdam: Morgan Kaufmann.

Schacter, Daniel L.; Gilbert, Dan T.; Wegner, Dan M., 2011. *Psychology*. New York: Worth Publishers.

Seale, Jane, 2006a. "A contextualised model of accessible e-learning practice in higher education institutions". *Australasian journal of educational technology*. Vol. 22, no. 2, p. 268-288. <https://doi.org/10.14742/ajet.1302>.

Seale, Jane, 2006b. "The rainbow bridge metaphor as a tool for developing accessible e-learning practices in higher education". *Canadian journal of learning and technology*. Vol. 32, no. 2. <https://doi.org/10.21432/T29K5J>.

Scheiman, Mitchell; Scheiman, Maxine; Whittaker, Stephen G., 2007. *Low vision rehabilitation: a practical guide for occupational therapists*. Thorofare, New Jersey: Slack

Scott, Derek, 1993. "Visual search in modern human-computer interfaces". *Behaviour and information technology*. Vol. 12, issue 3, p. 174-189. <https://doi.org/10.1080/01449299308924378>.

Scott, Ingrid U.; Feuer, William J.; Jacko, Julie A., 2002a. "Impact of visual function on computer task accuracy and reaction time in a cohort of patients with age-related macular degeneration". *American journal of ophthalmology*. Vol. 133, issue 3, p. 350-357. [https://doi.org/10.1016/s0002-9394\(01\)01406-4](https://doi.org/10.1016/s0002-9394(01)01406-4).

- Scott, Ingrid U.; Feuer, William J.; Jacko, Julie A., 2002b. "Impact of graphical user interface screen features on computer task accuracy and speed in a cohort of patients with age-related macular degeneration". *American journal of ophthalmology*. Vol. 134, issue 6, p. 857–862. [https://doi.org/10.1016/S0002-9394\(02\)01795-6](https://doi.org/10.1016/S0002-9394(02)01795-6).
- Incorporated.Sim, Gavin; Read, Janet C.; Cockton, Gilbert, 2009. "Evidence based design of heuristics for computer assisted assessment". En: *Proceedings of Human-Computer Interaction INTERACT 2009*, p. 204-216. https://doi.org/10.1007/978-3-642-03655-2_25.
- Sanchís Jurado, Vicent; Pons Moreno, Álvaro, 2020. "Qué pueden aportar las ciencias de la visión al diseño gráfico?". *EME: experimental illustration, art & design*. Nº 8, p. 58-65. <https://doi.org/10.4995/eme.2020.13204>.
- Sathi, Vamsi; Sadhasivan, Sundaresh, 2020. "Accessibility and big data analytics on cloud". Preprint. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/347443390_Accessibility_and_Big_Data_Analytics_on_Cloud.
- Saver, Cynthia, 2006. "Tables and figures: adding vitality to your article". *AORN journal*. Vol. 84, issue 6, p. 945-950. [https://doi.org/10.1016/S0001-2092\(06\)63991-4](https://doi.org/10.1016/S0001-2092(06)63991-4).
- Schild, M., 2004. "Information literacy, statistical literacy and data literacy". *IASSIST Quarterly*. Vol. 28, no. 2-3, p. 6-11. <https://doi.org/10.29173/iq790>.
- Sharif, Ather; Forouraghi, Babak, 2018. "evoGraphs: a jQuery plugin to create web accessible graphs". En: *2018 15th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC)*. <https://doi.org/sire.ub.edu/10.1109/CCNC.2018.8319239>.
- Shinohara, Kristen; Wobbrock, Jacob O., 2011. "In the shadow of misperception: assistive technology use and social interactions". En: *CHI '11: Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, p. 705-714. <https://doi.org/10.1145/1978942.1979044>.
- Shneiderman, Ben, 2000. "Universal usability". *Communications of the ACM*. Vol. 43, no.5 (May), p. 85-91. <https://doi.org/10.1145/332833.332843>.
- Shneiderman, Ben, 2002. "Promoting universal usability with multi-layer interface design". *ACM SIGCAPH computers and the physically handicapped*. No. 73-74. <https://doi.org/10.1145/960201.957206>.
- Simon, Simple; Becker, Brett; Hamouda, Sally; McCartney, Robert; Sanders, Kate; Sheard, Judy, 2019. "Visual portrayals of data and results at ITiCSE". In *ITiCSE '19: Proceedings of the 2019 ACM Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education*, p 51-57. <https://doi.org/10.1145/3304221.3319742>.

- Simon-Liedtke, Joshua; Flatla, David R.; Bakken, Eskild N., 2017. "Checklist for daltonization methods: requirements and characteristics of a good recolouring method". *Electronic imaging*. 18 (Color Imaging XXII: displaying, processing, hardcopy, and applications), p. 21–27. <https://doi.org/10.2352/ISSN.2470-1173.2017.18.COLOR-029>.
- Schepers, Doug, 2019. "Why accessibility is at the heart of data visualization". *Nightingale: the journal of the Data Visualization Society*. Disponible en: <https://medium.com/nightingale/accessibility-is-at-the-heart-of-data-visualization-64a38d6c505b>
- Schriger, David L.; Cooper, Richelle J., 2001. "Achieving graphical excellence: suggestions and methods for creating high-quality visual displays of experimental data". *Annals of emergency medicine*. Vol. 37, issue 1, p. 75-87. <https://doi.org/10.1067/mem.2001.111570>.
- Schmidt, Kristi E.; Bauerly, Michael; Liu, Yili; Sridharan, Srivatsan, 2003. "Web page aesthetics and performance: a survey and an experimental study". En: *Proceedings of the Eighth Annual International Conference on Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice*, p. 478-484. Disponible en: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.471.5215&rep=rep1&type=pdf>.
- Shelly, Mark, 1994. "Three-dimensional graphs misleading". *Infection control & hospital epidemiology*. Vol. 15, issue 11, p. 686-687. Disponible en: <https://www.cambridge.org/core/journals/infection-control-and-hospital-epidemiology/article/threedimensional-graphs-misleading/4695DC20948D879FAF4FC809CF409EF7>.
- Skau, Drew; Harrison, Lane; Kosara, Robert, 2015. "An evaluation of the impact of visual embellishments in bar charts". *Eurographics Conference on Visualization (EuroVis)*. Vol. 34, no. 3, p. 221-230. Disponible en: <https://web.cs.wpi.edu/~ltharrison/docs/skau2015evaluation.pdf>.
- Snaprud, Mikael; Velazquez, Andrea, 2020. "Accessibility of data visualizations: an overview of European statistics institutes". En: Engebretsen, M. and Kennedy, H. (eds.). *Data visualization in society*. Amsterdam: Amsterdam University Press, p. 111-126. <https://doi.org/10.2307/j.ctvzgb8c7.13>.
- Snellen, Herman, 1862. *Probebuchstaben zur Bestimmung der Sehschärfe*. Utrecht: Van de Weijer.
- Song, Jaeil, et al., 2003. "Digital item adaptation for color vision variations. En: *Proceedings Volume 5007, Human Vision and Electronic Imaging VIII*, p. 96-103. <https://doi.org/10.1117/12.473909>.

- Sorge, Volker, 2016. "Polyfilling accessible chemistry diagrams". En: Miesenberger K.; Bühler C.; Penaz P. (eds.). *Computers Helping People with Special Needs. ICCHP 2016. Lecture Notes in Computer Science*. Vol 9758, p. 43-50.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-41264-1_6.
- Sorge, Volker, 2020. "Multimodal STEM documents". En: *2020 DIAGRAM Center report*. Disponible en: <http://diagramcenter.org/diagram-reports/diagram-2020-report/multimodal-stem-documents.html>.
- Sorge, Volker; Bansal, Akashdeep; Jadhav, Neha; Garg, Himanshu; Verma, Ayushim 2020. "Towards generating web-accessible STEM documents from PDF". En: *W4A '20: Proceedings of the 17th International Web for All Conference*, p. 1-5. <https://doi.org/10.1145/3371300.3383351>.
- Spiliotopoulos, Dimitris; Xydas, Gerasimos; Kouroupetroglou, Georgios; Argyropoulos, Vasilios; Ikospentaki, Kalliopi, 2010. "Auditory universal accessibility of data tables using naturally derived prosody specification". *Universal access in the information society*. Vol. 9, p. 169-183 (2010). <https://doi.org/10.1007/s10209-009-0165-0>.
- Splendiani, Bruno; Ribera, Mireia, 2014. "Accessible images in computer science journals". *Procedia computer science*. Vol. 27, p. 9-18.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2014.02.003>.
- Splendiani, Bruno; Ribera, Mireia; Centelles, Miquel, 2014. "Are figures accessible in mathematics academic journals?". En: *29th Annual International Technology and Persons with Disabilities Conference*. Disponible en: <http://hdl.handle.net/2445/54814>
- Splendiani, Bruno, 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. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10803/386242>.
- Statista, 2019. *Percentage of all global web pages served to mobile phones from 2009 to 2018*. Disponible en: <https://www.statista.com/statistics/241462/global-mobile-phone-website-traffic-share/>.
- Stephanidis, Constantine, 2001. *User interfaces for all-concepts, methods, and tools*. "Chapter 1. User interfaces for all: new perspectives into human-computer interaction". Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, p. 3-17.
- Sullivan, Gail M.; Artino, Anthony R., 2013. "Analyzing and interpreting data from Likert-type scales". *Journal of graduate medical education*. Vol. 5, issue 4, p. 541-542.
<https://dx.doi.org/10.4300%2FJGME-5-4-18>.

- Szpiro, Sarit-Felicia-Anais; Hashash, Shafeka; Zhao, Yuhang; Azenkot, Shiri, 2016. "How People with low vision access computing devices: understanding challenges and opportunities". En: *ASSETS '16 Proceedings of the 18th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, p. 171-180.
<https://dl.acm.org/doi/10.1145/2982142.2982168>.
- Takagi, Hironobu; Saito, Shin; Fukuda, Kentarou; Asakawa, Chieko (2007). "Analysis of navigability of Web applications for improving blind usability". *ACM transactions on computer-human interaction*. Vol. 14, issue 3, article 13.
<https://doi.org/10.1145/1279700.1279703>.
- Talbot, Justin; Setlur, Vidya; Anand, Anushka, 2014. "Four experiments on the perception of bar charts". En: *IEEE transactions on visualization and computer graphics*. Vol. 20, no. 12, p. 2152-2160. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2014.2346320>.
- Taylor, S.E.; Rupp, B.A. (1987). "Display image characteristics and visual response". En: Knave, B.; Wideback, P.G. (eds.). *Work with display units 86*. Amsterdam: North Holland.
- Termens, Miquel; Ribera, Mireia; Porras, Mercè; Boldú, Marc; Sulé, Andreu; Paris, Pilar, 2009. "Web Content Accessibility Guidelines: from 1.0 to 2.0". En: *WWW '09: Proceedings of the 18th international conference on World Wide Web*, p. 1171-1172.
<https://doi.org/10.1145/1526709.1526912>.
- Texas School for the Blind and Visually Impaired, 2016. *Specific eye conditions, corresponding impact on vision, and related educational considerations*. Disponible en: <https://www.tsbvi.edu/eye-conditions>.
- Thatcher, J.; Waddell, C.D.; Henry, Shawn Lawton; Swierenga, S.; Urban, M.D.; Burks, M.; Regan, B.; Bohman, P., 2003. *Constructing accessible web sites*. San Francisco: glasshaus.
- Theofanos, Mary Frances; Redish, Janice G., 2003. "Bridging the gap: between accessibility and usability". *Interactions*. Vol. 10, issue 6 (Nov./Dec.), p. 36-51.
<https://doi.org/10.1145/947226.947227>.
- Theofanos, Mary Frances; Redish, Janice G., 2005. "Helping low vision and other users with web sites that meet their needs: is one site for all feasible?". *Technical communication*. Vol. 52, issue 1, p. 9-20.
- Thomas, James J.; Cook, Kristin A., 2005. *Illuminating the path: The R&D agenda for visual analytics*. National Visualization and Analytics Center.
- Thylefors, B.; Négre, A.D.; Pararajasegaram, R.; Dadzie, K.Y., 1995. "Global data on blindness". *Bull World Health Organ*. Vol. 73, no. 1, p. 115-121. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2486591/>.

- Tinker, Miles, 1963. *The legibility of print*. Ames: Iowa State University Press.
- Treisman, Anne, 1985. "Preattentive processing in vision". *Processing*. Vol. 31, issue 2, p. 156-177. [https://doi.org/10.1016/S0734-189X\(85\)80004-9](https://doi.org/10.1016/S0734-189X(85)80004-9).
- Trevinarus, Jutta, 2008. "Authoring tools". En: *Web accessibility*. London: Springer, p. 127-138. Disponible en: <http://www.cs.man.ac.uk/~yesilady/docs/book/part-3-chapter-6.doc>.
- Treviranus, Jutta; Mitchell, Jess; Clark, Colin, 2018. *Sonification, Floe: the inclusive learning design handbook*. Disponible en: <https://handbook.floeproject.org/Sonification.html>.
- Troiano, Luigi; Birtolo, Cosimo; Miranda, Maria, 2008. "Adapting palettes to color vision deficiencies by genetic algorithm". En: *GECCO '08: Proceedings of the 10th Annual Conference on Genetic and Evolutionary Computation*, p. 1065-1072. <https://doi.org/10.1145/1389095.1389291>.
- Tufte, Edward, 1983. *The visual display of quantitative information*. Cheshire, Connecticut: Graphics Press.
- Tukey, John Wilder, 1977. *Exploratory data analysis*. Reading, Mass. [etc.]: Addison-Wesley.
- UK Disability Rights Commission, 2004. *The Web: access and inclusion for disabled people: a formal investigation conducted by the Disability Rights Commission*. London: TSO. Disponible en: <https://ifap.ru/library/book427.pdf>.
- UNECE, 2009. *Making data meaningful. Part 2: a guide to presenting statistics*. Geneva: United Nations. Disponible en: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/stats/documents/writing/MDM_Part2_English.pdf.
- Utray-Delgado, Francisco, 2009. *Accesibilidad a la TDT en España para personas con discapacidad sensorial (2005-2007)*. Madrid: Real Patronato sobre Discapacidad. Disponible en: <http://riberdis.cedd.net/handle/11181/2873>.
- Van Achterberg, Mallory, 2019. "Designing and coding for low vision". *Technica11y: discussing challenges in technical accessibility*. Disponible en: <https://www.technica11y.org/designing-and-coding-for-low-vision>.
- Vanderheiden, Gregg, 1995. *Design of HTML (Mosaic) pages to increase their accessibility to users with disabilities strategies for today and tomorrow*. Madison, WI: Trace R&D Center. Disponible en: <https://trace.umd.edu/publications/design-html-mosaic-pages-increase-their-accessibility-users-disabilities-strategies>.

- Vanderheiden, G.; Tobias, J., 1998. "Barriers, incentives and facilitators for adoption of universal design practices by consumer product manufacturers". En: *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. Vol. 42, mo. 6, p. 584-588. <https://doi.org/10.1177/154193129804200613>.
- Van-Greunen, Darelle; Yeratziotis, Alexandros; Pottas, Dalenca, 2011. "A three-phase process to develop heuristics". En: *Proceedings of the 13th Annual Conference on World Wide Web Applications, Johannesburg*, p. 5-23.
- Walker, Bruce N.; Nees, Michael A., 2005. "An agenda for research and development of multimodal graphs". En: *Proceedings of ICAD 05-Eleventh Meeting of the International Conference on Auditory Display, Limerick, Ireland*. Disponible en: http://sonify.psych.gatech.edu/ags2005/pdf/AGS05_WalkerNees.pdf.
- Vartabedian, A.G., 1971. "The effects of letter size, case, and generation method on CRT display search time". *Human factors*. Vol. 13, issue 4, p. 363-368. <https://doi.org/10.1177/001872087101300404>.
- Verdaguer, Juan, 2010. "Degeneración macular relacionada a la edad". *Revista médica clínica Las Condes*. Vol. 21, issue 6 (Nov.), p. 949-955. [https://doi.org/10.1016/S0716-8640\(10\)70620-9](https://doi.org/10.1016/S0716-8640(10)70620-9).
- Vigo, Markel; Harper, Simon, 2013. "Coping tactics employed by visually disabled users on the Web". *International journal of human-computer studies*. Vol. 71, issue 11 (Nov.), p. 1013–1025. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2013.08.002>.
- W3C, 2000a. *Authoring Tool Accessibility Guidelines 1.0*. Disponible en: <https://www.w3.org/TR/2000/REC-ATAG10-20000203/>.
- W3C, 2000b. *Accessibility features of SVG*. Disponible en: <https://www.w3.org/TR/2000/NOTE-SVG-access-20000807/>.
- W3C, 2014. *Website Accessibility Conformance Evaluation Methodology (WCAG-EM) 1.0*. Disponible en: <https://www.w3.org/TR/WCAG-EM/>.
- W3C, 2015a. *SVG Accessibility/ARIA roles for charts*. Disponible en: https://www.w3.org/wiki/SVG_Accessibility/ARIA_roles_for_charts.
- W3C, 2015b. *Authoring Tool Accessibility Guidelines (ATAG) 2.0*. Disponible en: <https://www.w3.org/TR/ATAG20/>.
- W3C, 2015c. *User Agent Accessibility Guidelines (UAAG) 2.0*. Disponible en: <https://www.w3.org/TR/UAAG20/>
- W3C, 2016. "H37: using alt attributes on img elements". En: *Techniques for WCAG 2.0*. Disponible en: <https://www.w3.org/TR/WCAG20-TECHS/H37.html>.

- W3C, 2016b. "H45: using longdesc". En: *Techniques for WCAG 2.0*. Disponible en: <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". En: *Techniques for WCAG 2.0*. Disponible en: <https://www.w3.org/TR/WCAG20-TECHS/G73.html>.
- W3C, 2016d. "Point of regard". En: *Low Vision Task Force open issues*. Disponible en: https://www.w3.org/WAI/GL/low-vision-a11y-tf/wiki/LVTF_Open_Issues#Point_of_Regard_-_Others.3F.
- W3C, 2017. *Accessible Rich Internet Applications (WAI-ARIA) 1.1*. Disponible en: <https://www.w3.org/TR/wai-aria/>.
- W3C, 2018a. *Web content accessibility guidelines (WCAG) 2.1*. Disponible en: <https://www.w3.org/TR/WCAG21/>.
- W3C, 2018b. *WAI-ARIA graphics module*. Disponible en: <https://www.w3.org/TR/graphics-aria-1.0/>.
- W3C, 2018c. *Understanding WCAG 2.1*. Disponible en: <https://www.w3.org/WAI/WCAG21/Understanding/>.
- W3C, 2019a. "Understanding success criterion 1.4.11: non-text contrast". En: *Understanding WCAG 2.1*. Disponible en: <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*. Disponible en: <https://www.w3.org/WAI/tutorials/images/complex/>.
- W3C, 2019c. *How to meet WCAG (quick reference): a customizable quick reference to Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2 requirements (success criteria) and techniques*. Disponible en: <https://www.w3.org/WAI/WCAG21/quickref/>.
- W3C, 2020. "Understanding Success Criterion 1.3.4: Orientation". En: *Understanding WCAG 2.1*. Disponible en: <https://www.w3.org/WAI/WCAG21/Understanding/>.
- Wall, Steven A.; Brewster, Stephen A., 2006. "Tac-tiles: multimodal pie charts for visually impaired users". En: *Proceedings of the 4th Nordic conference on Human-computer interaction: changing roles*, p. 9-18. <https://doi.org/10.1145/1182475.1182477>.
- Wakita, ken; Shimamura, Kenta, 2005. "SmartColor: disambiguation framework for the colorblind". En: *Assets '05: Proceedings of the 7th international ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, p. 158-165. <https://doi.org/10.1145/1090785.1090815>.

Gráficos estadísticos para personas con baja visión:
desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

- Ware, Colin; Beatty, J.C., 1985. "Using colour as a tool in discrete data analysis," Tech. Rep. CS- p. 85-21. Waterloo, Ont., Canada: Computer Science Dept., Univ. of Waterloo 1985.
- Ware, Colin, 1988. "Color sequences for univariate maps: theory, experiments and principles". *IEEE computer graphics and applications*. Vol. 8, issue 5, p. 41-49. <https://doi.org/10.1109/38.7760>.
- Ware, Colin, 2012. *Information visualization: perception for design*. 3rd ed. Amsterdam: Elsevier; Morgan Kaufman.
- Watanabe, Tetsuya; Yamaguchi, Toshimitsu; Koda, Satoko; Minatani, Kazunori, 2014. "Tactile map automated creation system using OpenStreetMap". En: *International Conference on Computers for Handicapped Persons, ICCHP 2014. Computers helping people with special needs*. London: Springer, p. 42-49. https://doi.org/10.1007/978-3-319-08599-9_7.
- WebAIM, 2009. *Screen reader user survey #2 results*. Disponible en: <https://webaim.org/projects/screenreadersurvey2/>.
- WebAIM, 2013a. *Visual disabilities. Page 3. Low vision*. Disponible en: <https://webaim.org/articles/visual/lowvision>.
- WebAIM, 2013b. *Survey of users with low vision results*. Disponible en: <https://webaim.org/projects/lowvisionsurvey/>.
- WebAIM, 2013c. "Fonts". *WebAIM: web accessibility in mid. Articles*. Disponible en: <https://webaim.org/techniques/fonts/>
- WebAIM, 2015. *Screen reader user survey #6 results*. Disponible en: <https://webaim.org/projects/screenreadersurvey6/>.
- WebAIM, 2017. *Screen reader user survey #7 results*. Disponible en: <https://webaim.org/projects/screenreadersurvey7/>.
- WebAIM, 2018. *Survey of users with low vision #2 results*. Disponible en: <https://webaim.org/projects/lowvisionsurvey2/>.
- WebAIM, 2019. *Screen reader user survey #8 results*. Disponible en: <https://webaim.org/projects/screenreadersurvey8/>.
- WebAIM, 2020. *Introduction to web accessibility*. <https://webaim.org/intro/>
- Wecker, Louis de, 1877. *Échelle métrique pour mesurer l'acuité visuelle*. Paris: Octave Doin.
- Weiss, Elaine, 1993. *Making computers-people literate*. San Francisco, Calif.: Pfeiffer.

- Weninger, Marcus; Ortner, Gerald; Hahn, Tobias; Drümmer, Olaf; Miesenberger, Klaus, 2016. "ASVG – Accessible Scalable Vector Graphics: intention trees to make charts more accessible and usable". *Journal of assistive technologies*. Vol. 9, no. 4, p. 239-246. <https://doi.org/10.1108/JAT-10-2015-0027>.
- Wendt, Dirk, 1994. "Legibility". En: Karow, Peter (ed.). *Font technology*. Springer Verlag, p. 271-306. https://doi.org/10.1007/978-3-642-78505-4_12.
- Wetzlinger, Werner; Auinger, Andreas; Dörflinger, Michael, 2014. "Comparing effectiveness, efficiency, ease of use, usability and user experience when using tablets and laptops". En: *Third International Conference, DUXU 2014 Held as Part of HCI International 2014. Design, user experience, and usability theories, methods, and tools for designing the user experience*, p. 402-412. https://doi.org/10.1007/978-3-319-07668-3_39.
- White, Jason, 2018. "WCAG 2.1 meets STEM: application, interpretation, and opportunities for further standard development". *Journal of science education*. Vol. 22, no 1. Disponible en: <https://eric.ed.gov/?id=EJ1225251>.
- WHO, 1980. *International classification of impairments, disabilities and handicaps: a manual of classification relating to the consequences of disease*. Geneva: World Health Organization. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/41003>.
- WHO, 2010. *Global data on visual impairments*. Geneva: World Health Organization. Disponible en: <https://www.who.int/blindness/GLOBALDATAFINALforweb.pdf>.
- WHO, 2018. *International classification of functioning, disability and health*. Disponible en: <https://www.who.int/standards/classifications/international-classification-of-functioning-disability-and-health>
- WHO, 2019. "Blindness and vision impairment". En: *Fact sheets*. Disponible en: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>.
- Wilkins, A.J.; Nimmo-Smith, M.I., 1987. "The clarity and comfort of printed text". *Ergonomics*. Vol. 30, issue 12, p. 1705-1720. <https://doi.org/10.1080/00140138708966059>.
- Wilkinson, Leland, 2005. *The grammar of graphics*. New York: Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/0-387-28695-0>.
- Wolfe, J.M., 1994. "Guided search 2.0: a revised model of visual search". *Psychonomic bulletin and review*. Vol. 1, issue 2, p. 202-238. <https://doi.org/10.3758/BF03200774>.
- Wright, Patricia; Fox, Kathryn, 1970. "Presenting information in tables". *Applied ergonomics*. Vol. 1, issue 4, p. 331–343. [https://doi.org/10.1016/0003-6870\(70\)90133-X](https://doi.org/10.1016/0003-6870(70)90133-X).

- Xiao, Guobei; Xu, Guotong; Lu, Jianwei, 2010. "iBrowse: software for low vision to access Internet". En: *2010 3rd International Conference on Biomedical Engineering and Informatics*, p. 2062–2066. <https://doi.org/10.1109/BMEI.2010.5639642>.
- Xiong, Ying-Zi; Lorsung, Ethan A.; Mansfield, John Stephen; Bigelow, Charles; Legge, Gordon E., 2018. "Fonts designed for macular degeneration: impact on reading". *Investigative ophthalmology & visual science*. Vol. 59, no. 10, p. 4182-4189. <https://dx.doi.org/10.1167%2Fiovs.18-24334>.
- Yang, Seungji, et al., 2004. "Improving visual accessibility for color vision deficiency based on MPEG-21". *ETRI journal*. Vol. 26, issue 3, p. 195-202. <https://doi.org/10.4218/etrij.04.0603.0007>.
- Yang, Young Gun; Kim, Hack Yoon; Yi, Keun Man, 2007. "A color contrast algorithm for e-learning standard". *International journal of computer science and network security*. Vol. 7, no. 4, p. 195-201.
- Yesilada, Yeliz; Stevens, Robert; Goble, Carole; Hussein, Shazad, 2003. "Rendering tables in audio: the interaction of structure and reading styles". En: *Assets '04: Proceedings of the 6th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility*, p. 16-23. <https://doi.org/10.1145/1028630.1028635>.
- Yesilada, Yeliz; Stevens, Robert; Harper, Simon; Goble, Carole, 2007. "Evaluating DANTE: semantic transcoding for visually disabled users". *ACM transactions on computer-human interaction*. Vol. 14, issue 3. <https://doi.org/10.1145/1279700.1279704>.
- Yesilada, Yeliz; Brajnik, Giorgio; Harper, Simon, 2011. "Barriers common to mobile and disabled web users". *Interacting with computers*. Vol. 23, issue 5, p. 525-542. <http://dx.doi.org/10.1016/j.intcom.2011.05.005>.
- Yesilada, Yeliz; Brajnik, Giorgio; Vigo, Markel; Harper, Simon, 2012. "Understanding web accessibility and its drivers". En: *W4A '12: Proceedings of the International Cross-Disciplinary Conference on Web Accessibility*, p. 1-9. <https://doi.org/10.1145/2207016.2207027>.
- Yi, W.; Park, E.; Cho, K., 2011. "E-book readability, comprehensibility and satisfaction". En: *Proceedings of the 5th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication*. <https://doi.org/10.1145/1968613.1968660>.
- Young, Forrest W.; Valero-Mora, Pedro; Friendly, Michael, 2006. *Visual statistics: seeing data with dynamic interactive graphics*. Hoboken, NJ: Wiley.
- Young-Gun, Jang, 2006. "Color contrast evaluation algorithm considering color temperature feeling". *The KIPS transactions: part B*. Vol. 13B, issue 4, p. 471-478. <https://doi.org/10.3745/KIPSTB.2006.13B.4.471>.

- Youngblood, Norman E., 2020. "Digital inclusiveness of health information websites". *Universal access in the information society*. Vol. 19, issue 1, p. 69-80.
<https://doi.org/10.1007/s10209-018-0629-1>.
- Yu, Hong; Agarwal, Shashank; Johnston, Mark; Cohen, Aaron, 2009. "Are figure legends sufficient? evaluating the contribution of associated text to biomedical figure comprehension". *Journal of biomedical discovery and collaboration*. Vol. 4, issue 1.
<https://dx.doi.org/10.1186%2F1747-5333-4-1>.
- Yu, Wai; Ramloll, Rameshsharma; Brewster, Stephen A., 2000. "Haptic graphs for blind computer users". En: *Workshop on Haptic HCI*, p. 41-51.
<https://dl.acm.org/doi/abs/10.5555/645443.652687>.
- Yu, Wai; Brewster, Stephen A., 2003. "Evaluation of multimodal graphs for blind people". *Universal access in the information society*. Vol. 2, issue 2, p. 105-124.
<https://doi.org/10.1007/s10209-002-0042-6>.
- Zubiaga, Arkaitz; MacNamee, Brian, 2016. "Graphical perception of value distributions: an evaluation of non-expert viewers data literacy". *Journal of community informatics*. Vol 12, no. 3, p.138-159. Disponible en: <http://www.ci-journal.net/index.php/ciej/article/view/1275>.

Anexo 1.

Guía para la evaluación heurística de la accesibilidad para personas con baja visión de los gráficos estadísticos

Escala de Likert

Score	Level of compliance
-	Not Applicable (NA)
-	Failing is not a problem (NP)
0	No compliance
1	Low compliance
2	Acceptable compliance
3	High compliance
4	Excellent compliance

1. Buenas prácticas

1.1. H1 - Título del gráfico

1.1.1. Comprender el principio

El objetivo de este principio es asegurar que todo gráfico disponga de un título breve y descriptivo –entre 6 y 12 palabras aproximadamente– (Evergreen y Emery, 2018) que represente fielmente su contenido, y ayude a diferenciarlo de otros gráficos que se muestran en la misma página, pudiendo navegar así rápidamente entre ellos.

1.1.2. Cómo cumplir el principio

Acompañar a todo gráfico de un título breve, pero descriptivo, preferentemente en formato de texto.

1.1.3. Ejemplos de puntuaciones

- NA - Este principio no permite esta puntuación, la ausencia de título siempre es problemática.
- NP - Este principio no permite esta puntuación, la ausencia de título siempre es problemática.
- 0 - El gráfico no cuenta con un título.
- 1 - El gráfico cuenta con un título, pero éste no sintetiza el propósito del gráfico.
- 2 - El gráfico cuenta con un título que sintetiza el propósito del gráfico, pero es demasiado extenso (más de 12 palabras).
- 3 - El gráfico cuenta con un título que sintetiza su propósito, se ajusta a la extensión recomendada, pero no es suficientemente distintivo del resto de gráficos de la página.
- 4 - El título se ajusta a la extensión recomendada, sintetiza perfectamente el propósito general del gráfico y permite diferenciar al gráfico del resto de gráficos del documento.

Si el título se proporciona como una imagen de texto se debe bajar un punto la valoración. Por ejemplo, si se le asigna un 4 según los criterios anteriores, pero se proporciona como imagen de texto la puntuación final será de 3. Este problema se debe recoger en los comentarios del principio.

1.2. H2 - Leyenda

1.2.1. Comprender el principio

El objetivo de este principio es asegurar que se utilizan leyendas para facilitar la interpretación de las marcas utilizadas, cuando se utilizan formas, escalas de colores o patrones asociados a varias series de valores.

1.2.2. Cómo cumplir el principio

Crear una leyenda para asociar inequívocamente los colores, escalas de colores o patrones utilizados en el gráfico con sus respectivas series de valores asociados, preferentemente en formato de texto y no como imagen de texto.

1.2.3. Ejemplos de puntuaciones

- NA - El gráfico no necesita una leyenda. Por ejemplo, porque sólo existe una serie de datos.
- NP - El gráfico no cuenta con una leyenda, pero otro elemento permite relacionar de forma clara las marcas utilizadas con su significado (datos etiquetados directamente, título, pie, etc.)

Gráficos estadísticos para personas con baja visión:
desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

- 0 - El gráfico no cuenta con una leyenda.
- 1 - No se utiliza (a excepción de si puntuamos un 2 y restamos 1 por ser imagen de texto)
- 2 - Cuenta con una leyenda, pero resulta difícil diferenciar las diferentes marcas a partir de ésta (por ejemplo, las marcas utilizan patrones y el cuadro de la leyenda es muy pequeño por lo que no se pueden diferenciar). Si las marcas no se distinguen por color, contraste o forma debe indicarse en los principios 3.1 o 3.2 respectivamente, y no en este principio.
- 3 - No se utiliza (a excepción de si puntuamos un 4 y restamos 1 por ser imagen de texto)
- 4 - El gráfico cuenta con una leyenda que asocia inequívocamente los colores o patrones utilizados en el gráfico con sus respectivas series de valores asociados.
- Si la leyenda se proporciona como una imagen de texto se debe bajar un punto la valoración. Por ejemplo, si se le asigna un 4 según los criterios anteriores, el resultado final será de 3.

1.3. H3 Eje de datos y categoría

1.3.1. Comprender el principio

El objetivo de este principio es asegurar que se muestran los diferentes ejes del gráfico (datos, categorías, tiempo...) y que todos se encuentran etiquetados de manera pertinente, preferentemente en formato de texto y no como imagen de texto.

1.3.2. Cómo cumplir el principio

Los ejes deben ser claramente visibles. Además, en los casos que sea necesario para ayudar a situar visualmente los valores de la variable, pueden complementarse con una retícula interna en el gráfico, procurando no sobrecargar el gráfico de información. Cada eje debe contar con un título conciso, y suficientemente descriptivo. A menudo, es necesario complementar la información proporcionada por los ejes con la unidad utilizada (por ejemplo, miles de litros, millones de años, etc.)

1.3.3. Ejemplos de puntuaciones

- NA - El gráfico no necesita ejes (por que el diseño no los requiere, por ejemplo, en los gráficos de sectores).
- NP - El gráfico no cuenta con ejes, pero las etiquetas en cada marca, título, etc., proporcionan información equivalente.
- 0 - El gráfico no cuenta con uno o más de los ejes necesarios.
- 1 - El gráfico cuenta con los ejes necesarios, pero no cumplen ninguno de los siguientes tres requisitos: a) los ejes tienen un título conciso y descriptivo, b)

el texto de los ejes se muestra horizontalmente, y c) si es necesario, muestran la unidad de medida utilizada.

- 2 - El gráfico cuenta con los ejes necesarios, pero sólo cumple uno de los siguientes requisitos: a) los ejes tienen un título conciso y descriptivo, b) el texto de los ejes se muestra horizontalmente, y c) si es necesario, muestran la unidad de medida utilizada.
- 3 - El gráfico cuenta con los ejes necesarios, pero sólo cumple dos de los siguientes requisitos: a) los ejes tienen un título conciso y descriptivo, b) el texto de los ejes se muestra horizontalmente, y c) si es necesario, muestran la unidad de medida utilizada.
- 4 - El gráfico cuenta con los ejes necesarios y cumple con todos los requisitos siguientes: a) los ejes tienen un título conciso y descriptivo, b) el texto de los ejes se muestra horizontalmente, y c) si es necesario, muestran la unidad de medida utilizada.

1.4. H4 Pie de imagen

1.4.1. Comprender el principio

El objetivo de este principio es asegurar que el gráfico cuenta con un pie de texto que contribuye a facilitar la comprensión del mensaje que el gráfico transmite.

1.4.2. Cómo cumplir el principio

Redactar un breve pie que sintetice el mensaje que intenta transmitir el gráfico, preferentemente en formato de texto y no como imagen de texto.

Si el gráfico es muy simple y el título ya es descriptivo, es pie de imagen podría no ser necesario.

1.4.3. Ejemplos de puntuaciones

- NA - Este principio no permite esta puntuación, la ausencia de un pie siempre es problemática.
- NP - El gráfico es muy simple y no precisa de este elemento; o el gráfico forma parte de un panel de control (dashboard) que ya incorpora información adicional.
- 0 - El gráfico no cuenta con un pie.
- 1 - El gráfico cuenta con un pie, pero este repite el título u otra información ya incluida en otro elemento.
- 2 - El gráfico cuenta con un pie, pero no sintetiza el mensaje del gráfico ni aporta información adicional o conclusiones.
- 3 - El gráfico cuenta con un pie que sintetiza el mensaje del gráfico o aporta información adicional o conclusiones.

Gráficos estadísticos para personas con baja visión:
desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

- 4 - El gráfico cuenta con un pie que sintetiza el mensaje del gráfico y aporta información adicional o conclusiones.

Si el pie se proporciona como una imagen de texto se debe bajar un punto la valoración. Por ejemplo, si se le asigna un 4 según los criterios anteriores, el resultado final será 3.

1.5. H5 Abreviaturas

1.5.1. Comprender el principio

El objetivo de este principio es asegurar que todas las abreviaturas utilizadas se desarrollen para que los usuarios puedan comprenderlas. Entendiendo que el gráfico se debe poder entender por sí mismo, las abreviaturas deberían desarrollarse en el mismo gráfico con alguna de las técnicas que se muestran a continuación.

1.5.2. Cómo cumplir el principio

Existen diferentes vías para alcanzar este principio:

- En el caso de documentos Web:
 - . Utilizar el elemento <abbr> para desarrollar la forma completa de la abreviatura.
 - . Relacionar la abreviatura con su forma completa mediante un enlace.
- En el caso de documentos ofimáticos:
 - . Proporcionar un glosario inmediatamente después del gráfico con la lista de abreviaturas desarrolladas.
 - . Proporcionar la forma desarrollada entre paréntesis a continuación de la abreviatura.

1.5.3. Ejemplos de puntuaciones

- NA - En el gráfico no se utiliza ninguna abreviatura.
- NP - Aunque se utilizan abreviaturas y no se desarrollan, estas son estandarizadas o suficientemente conocidas por los lectores.
- 0 - El autor no desarrolla ninguna de las abreviaturas utilizadas.
- 1 - No se desarrollan todas las abreviaturas en alguna parte del gráfico.
- 2 - Se desarrollan todas las abreviaturas en alguna parte del gráfico, pero no se desarrollan en cada aparición de la abreviatura.
- 3 - Se desarrollan todas las abreviaturas en alguna parte del gráfico, pero la forma completa se muestra en otro idioma o con unidades de medida de otro contexto cultural.

- 4 - Se desarrollan todas las abreviaturas utilizadas en alguna parte del gráfico mediante uno de los métodos previstos para este principio en el idioma del documento y con unidades de medida locales.

1.6. H6 Fuente de datos

1.6.1. Comprender el principio

El objetivo de este principio es asegurar que todo gráfico cuente con una referencia a la fuente de datos a partir de la cual se ha elaborado. Asegurar el acceso al conjunto de datos original permite a los usuarios disponer de los datos en bruto en otros formatos, ofreciendo vías alternativas de acceso al mismo contenido como, por ejemplo, la posibilidad de descargarlos para abrirlos mediante una tercera aplicación. Por otro lado, la inclusión de la fuente es una buena práctica que da credibilidad a la información mostrada.

1.6.2. Cómo cumplir el principio

Preferentemente en el pie, se cita la fuente de manera inequívoca, enlazando al conjunto de datos (*dataset*) a partir del cual se ha elaborado el gráfico.

1.6.3. Ejemplos de puntuaciones

- NA - Este principio no permite esta puntuación, la ausencia de la fuente de datos siempre es problemática.
- NP - La información de la fuente de los datos no se proporciona en el pie o en el subtítulo, pero es fácilmente deducible por el contexto del gráfico.
- 0 - El gráfico no cuenta con una referencia a la fuente de datos.
- 1 - El gráfico cuenta con una breve referencia a la fuente de datos, pero no incluye ninguna de las siguientes características: a) fecha; b) información sobre el conjunto de datos; c) un enlace al conjunto de datos.
- 2 - El gráfico cuenta con una breve referencia a la fuente de datos, pero no incluye dos de las siguientes características: a) la fecha; b) información sobre el conjunto de datos; c) un enlace a al conjunto de datos.
- 3 - El gráfico cuenta con una breve referencia a la fuente de datos, pero no incluye una de las siguientes características: a) la fecha; b) información sobre el conjunto de datos; c) un enlace a al conjunto de datos.
- 4 - El gráfico cuenta con la fuente de datos y proporciona información sobre la autoría, fecha y enlaza al conjunto de datos original.

1.7. H7 Versión para impresión

1.7.1. Comprender el principio

El objetivo de este principio es asegurar que aquellos usuarios que prefieran consultar el gráfico sobre papel dispongan de una versión optimizada para este medio.

1.7.2. Cómo cumplir el principio

Existen diferentes maneras de alcanzar este principio:

- En el caso de documentos Web:
 - . Se asegura, mediante estilos CSS, que la impresión desde el navegador de la página que contiene el gráfico se visualiza correctamente.
 - . Se ofrece una versión para impresión específica optimizada al margen de las opciones de impresión nativas del navegador.
- En el caso de documentos ofimáticos:
 - . Se asegura que, una vez impresa la página en la que aparece el gráfico, este se muestra con un tamaño y calidad de imagen suficientes para su consulta.

1.7.3. Ejemplos de puntuaciones

- NA - Este principio no permite esta puntuación, la ausencia de una versión para impresión siempre es problemática.
- NP - Si se ofrece la posibilidad de descargar fácilmente una imagen que el usuario pueda imprimir con una calidad como la contemplada en el heurístico H13 (calidad de imagen), se puede considerar el principio como NP.
- 0 - El gráfico no cuenta con una versión para impresión.
- 1 - El gráfico cuenta con una versión para impresión que presenta los tres siguientes problemas: a) no aprovecha todo el ancho de la página; b) no presenta una legibilidad y calidad de imagen adecuada; y c) se corta entre varias páginas.
- 2 - El gráfico cuenta con una versión para impresión que presenta dos de los siguientes problemas: a) no aprovecha todo el ancho de la página; b) no presenta una legibilidad y calidad de imagen adecuada; o c) se corta entre varias páginas.
- 3 - El gráfico cuenta con una versión para impresión que presenta uno de los siguientes problemas: a) no aprovecha todo el ancho de la página; b) no presenta una legibilidad y calidad de imagen adecuada; o c) se corta entre varias páginas.
- 4 - El gráfico cuenta con una versión para impresión totalmente optimizada.

2. Alternativas textuales

2.1. H8 Texto alternativo

2.1.1. Comprender el principio

El objetivo de este principio es asegurar que todo gráfico cuenta con una descripción alternativa breve en formato texto. Este texto alternativo debe sintetizar la información que busca transmitir el gráfico, así como ayudar a los usuarios a identificar el tipo de gráfico utilizado. Si el gráfico es muy sencillo, un texto alternativo breve puede ser suficiente como alternativa textual, haciendo innecesario el indicador H9 (descripción larga). Por ejemplo, el siguiente texto alternativo podría ser suficiente como alternativa a un gráfico de sectores con dos valores: “gráfico circular con el porcentaje de contratos firmados por personas con discapacidad en España durante el año 2020: hombres 61% y mujeres (39%)”.

Cuando el gráfico es más complejo, el texto alternativo breve avanza el contenido del gráfico, permitiendo al lector decidir si quiere saber más a través de la consulta de la imagen o de su descripción larga. De acuerdo con el W3C (2019), también es posible indicar en él la ubicación de la descripción larga. A continuación, se reproducen un par de ejemplos del W3C (2019):

Opción A

Bar chart showing monthly and total visitors for the first quarter 2014 for sites 1 to 3.

Opción B

Bar chart showing monthly and total visitors for the first quarter 2014 for sites 1 to 3. Described under the heading site visitors full text.

2.1.2. Cómo cumplir el principio

La forma más habitual de cumplir con este principio es mediante el uso del atributo alt dentro del elemento . En el caso de gráficos HTML creados mediante SVG también es posible ofrecer alternativas de texto a través del estándar WAI-ARIA. En el caso de documentos ofimáticos, añadiendo el valor al campo específico contemplado por cada aplicación para ese propósito.

2.1.3. Ejemplos de puntuaciones

- NA - Este principio no permite esta puntuación, la ausencia de un texto alternativo siempre es problemática.
- NP - Se trata de un gráfico vectorial o creado mediante alguna biblioteca de JavaScript en el cual las marcas y la información textual ya describen el gráfico suficientemente.
- 0 - El gráfico no cuenta con un texto alternativo corto.

- 1 - El gráfico cuenta con un texto alternativo corto pero que no cumple con ninguno de los tres requisitos siguientes: a) se incluye mediante una o más formas estandarizadas y compatibles con las ayudas técnicas (alt, ARIA...); b) se identifica el tipo de gráfico; c) avanza el contenido para que el usuario decida si quiere consultar el gráfico en detalle o no.
- 2 - El gráfico cuenta con un texto alternativo corto pero que no cumple con dos de los tres requisitos siguientes: a) se incluye mediante una o más formas estandarizadas y compatibles con las ayudas técnicas (alt, ARIA...); b) se identifica el tipo de gráfico; c) avanza el contenido para que el usuario decida si quiere consultar el gráfico en detalle o no.
- 3 - El gráfico cuenta con un texto alternativo corto pero que no cumple con uno de los tres requisitos siguientes: a) se incluye mediante una o más formas estandarizadas y compatibles con las ayudas técnicas (alt, ARIA...); b) se identifica el tipo de gráfico; c) avanza el contenido para que el usuario decida si quiere consultar el gráfico en detalle o no.
- 4 - El gráfico cuenta con un texto alternativo corto y que cumple con los tres requisitos siguientes: a) se incluye mediante una o más formas estandarizadas y compatibles con las ayudas técnicas (alt, ARIA...); b) se identifica el tipo de gráfico; c) avanza el contenido para que el usuario decida si quiere consultar el gráfico en detalle o no.

2.2. H9 Descripción larga

2.2.1. Comprender el principio

El objetivo de este principio es asegurar que todo gráfico complejo cuenta con una descripción larga en formato texto que cumple el mismo propósito que el gráfico.

2.2.2. Cómo cumplir el principio

Una descripción larga muestra un resumen del mensaje que intenta transmitir el gráfico, una tabla con todos los valores a partir del cual se ha elaborado e información acerca de su presentación (tipo de gráfico, que información se comunica en cada eje, etc.). Existen diferentes formas de alcanzar este principio.

- En el caso de documentos web:
 - Mediante el uso del atributo longdesc, en el cual se proporciona un enlace a la descripción larga disponible preferiblemente en la misma página del gráfico.
 - Mediante un enlace de texto que lleva a una descripción larga adyacente al gráfico.
 - Describiendo la localización de la descripción larga en el atributo alt.

- En el caso de documentos ofimáticos:
 - . Justo a continuación del gráfico.

2.2.3. Ejemplos de puntuaciones

- NA - Este principio no permite esta puntuación, la ausencia de una descripción larga siempre es problemática.
- NP - El gráfico es tan simple que no precisa de una descripción larga.
- 0 - El gráfico no cuenta con una descripción larga.
- 1 - El gráfico cuenta con una descripción larga que no cumple ninguna de las tres características siguientes: a) cumple el mismo propósito que el gráfico; b) incluye acceso a una tabla de datos equivalente; y c) se utiliza alguno de los métodos descritos en 2.2.2. para vincular gráfico y descripción.
- 2 - El gráfico cuenta con una descripción larga que cumple que sólo una de las tres características siguientes: a) cumple el mismo propósito que el gráfico; b) incluye acceso a una tabla de datos equivalente; y c) se utiliza alguno de los métodos descritos en 2.2.2. para vincular gráfico y descripción.
- 3 - El gráfico cuenta con una descripción larga que cumple dos de las tres características siguientes: a) cumple el mismo propósito que el gráfico; b) incluye acceso a una tabla de datos equivalente; y c) se utiliza alguno de los métodos descritos en 2.2.2. para vincular gráfico y descripción.
- 4 - El gráfico cuenta con una descripción larga que cumple las tres características siguientes: a) cumple el mismo propósito que el gráfico, b) incluye acceso a una tabla de datos equivalente; y c) se utiliza alguno de los métodos descritos en 2.2.2. para vincular gráfico y descripción.

Si la descripción larga se proporciona como una imagen de texto se debe bajar un punto la valoración. Por ejemplo, si se le asigna un 4 según los criterios anteriores, el resultado final será de 3.

3. Color y contraste

3.1. H10 Colores seguros

3.1.1. Comprender el principio

El objetivo de este principio es asegurar que los usuarios con diferentes tipos de discapacidades asociadas a la percepción del color son capaces de diferenciar los colores utilizados en las marcas. Se entiende por colores seguros, aquellas

Gráficos estadísticos para personas con baja visión:
desarrollo de una metodología para su evaluación heurística

combinaciones de colores que cualquier persona es capaz de distinguir con independencia de si presenta algún síndrome asociado a la percepción del color o no.

3.2.2. Cómo cumplir el principio

Para cumplir con el principio se debe seleccionar una paleta de colores adecuada para los usuarios con diferentes tipos de visión cromática deficiente (VCD), incluida la acromatopsia (visión en escala de grises). Algunos ejemplos de paletas accesibles los encontramos en <http://colorbrewer2.org/> o <https://projects.susielu.com/viz-palette>.

Para la evaluación de este principio se pueden utilizar simuladores como NoCoffee Vision Simulator o Colorblinding.

3.2.3. Ejemplos de puntuaciones

- NA - Este principio no permite esta puntuación, no usar colores seguros siempre es problemático.
- NP - Los colores no se utilizan para transmitir información.
- 0 - El gráfico no utiliza colores seguros, u otras alternativas al color como patrones o texturas.
- 1 - Los colores utilizados se distinguen sólo por parte de uno de los siguientes perfiles de VCD: a) protanopia, b) deuteranopia o, c) tritanopia.
- 2 - Los colores utilizados se distinguen sólo por parte de dos de los siguientes perfiles de VCD: a) protanopia, b) deuteranopia o, c) tritanopia.
- 3 - Los colores utilizados se distinguen sólo por parte de los siguientes perfiles de VCD: a) protanopia, b) deuteranopia o, c) tritanopia, pero no por los usuarios con acromatopsia.
- 4 - Se utiliza un conjunto de colores diferenciables para todos los tipos de VCD. Alternativamente, se utilizan patrones o texturas que permiten diferenciar las marcas.

3.2. H11 Contraste

3.2.1. Comprender el principio

Para el contraste entre texto y fondo ver:

<https://www.w3.org/WAI/WCAG21/Understanding/contrast-minimum.html>

Para el contraste entre elementos no textuales ver:

<https://www.w3.org/WAI/WCAG21/Understanding/non-text-contrast.html>

3.2.2. Cómo cumplir el principio

La presentación visual del texto y las imágenes de texto presentan, al menos, un contraste de 4.5:1.

Para más información sobre como cumplir este principio ver:
<https://www.w3.org/WAI/WCAG21/quickref/#contrast-minimum>

La presentación visual de los elementos esenciales de un gráfico, requeridos para comprender el contenido, presenta un contraste mínimo de 3:1 entre colores adyacentes.

Para más información sobre como cumplir este principio ver:
<https://www.w3.org/WAI/WCAG21/quickref/#non-text-contrast>

3.2.3. Ejemplos de puntuaciones

- NA - Este principio no permite esta puntuación, todos los elementos de cualquier gráfico deben presentar un contraste suficiente.
- NP - Este principio no permite esta puntuación, un contraste insuficiente siempre es problemático.
- 0 - Los contrastes utilizados no llegan a las ratios mínimas exigidas por las WCAG 2.1.
- 1 - El contraste entre algunos elementos alcanza la ratio mínima exigida, pero otros no.
- 2 - Los contrastes utilizados alcanzan justo las ratios mínimas.
- 3 - Algunos contrastes alcanzan justo la ratio mínima, mientras que otros presentan un contraste superior.
- 4 - Todos los contrastes presentan ratios superiores a las mínimas.

4. Legibilidad

4.1. H12 Legibilidad

4.1.1. Comprender el principio

El objetivo de este principio es asegurar que para todo el texto que se muestra como parte o acompañando al gráfico estadístico, se respetan criterios tipográficos y de composición de textos que aseguran una buena legibilidad.

4.1.2. Cómo cumplir el principio

Para cumplir el principio, el texto utilizado en el gráfico, en el pie, así como el de las tablas o descripciones que lo acompañan debe utilizar una fuente tipográfica adecuada para baja visión: familia sans serif, evitar el uso de fuentes de fantasía y decorativas, seleccionar fuentes con suficiente diferencia entre caracteres, cuerpo ancho y grandes blancos internos y ojales, evitar el uso de variantes light o thin, evitar el uso excesivo de

negritas, cursivas y versalitas electrónicas, así como limitar el número de fuentes diferentes en el mismo documento.

Se aconseja un tamaño de fuente mínimo de 16 px en documentos web y de 12 pt en documentos ofimáticos (Kitchel, 2019; Nielsen, 2002). Si se utilizan tamaños inferiores se debe comprobar que el indicador 4.3 (Redimensionado) se cumple.

El espacio mínimo entre letras y palabras, así como el interlineado debe ser de al menos 1,5 (W3C, 2017a).

Debe evitarse el uso de palabras separadas por guiones.

No se debe abusar del uso de versalitas o cursivas (Johansson, 2010; W3C, 2017b).

4.1.3. Ejemplos de puntuaciones

- NA - Este principio no permite esta puntuación, la legibilidad es importante en cualquier tipo de gráfico.
- NP - Este principio no permite esta puntuación, una legibilidad insuficiente siempre es problemática.
- 0 - No se cumple con ninguno de los cuatro requisitos siguientes: a) se utiliza una fuente adecuada; b) el tamaño mínimo es superior de 16px/12pt; c) el interlineado es de como mínimo 1.5 o suficiente para el tamaño del texto, también el espacio entre letras y palabras; y d) no se abusa de cursivas, versales y mayúsculas.
- 1 - No se cumple con tres de los cuatro requisitos siguientes: a) se utiliza una fuente sans serif adecuada; b) el tamaño mínimo es superior de 16px/12pt; c) el interlineado es de como mínimo 1.5 o suficiente para el tamaño del texto, también el espacio entre letras y palabras; y d) no se abusa de cursivas, versales y mayúsculas.
- 2 - No se cumple con dos de los cuatro requisitos siguientes: a) se utiliza una fuente sans serif adecuada; b) el tamaño mínimo es superior de 16px/12pt; c) el interlineado es de como mínimo 1.5 o suficiente para el tamaño del texto, también el espacio entre letras y palabras; y d) no se abusa de cursivas, versales y mayúsculas.
- 3 - No se cumple con uno de los cuatro requisitos siguientes: a) se utiliza una fuente sans serif adecuada; b) el tamaño mínimo es superior de 16px/12pt; c) el interlineado es de como mínimo 1.5 o suficiente para el tamaño del texto, también el espacio entre letras y palabras; y d) no se abusa de cursivas, versales y mayúsculas.
- 4 - Se cumple con los cuatro requisitos siguientes: a) se utiliza una fuente *sans serif* adecuada; b) el tamaño mínimo es superior de 16px/12pt; c) el interlineado es de como mínimo 1.5 o suficiente para el tamaño del texto, también el espacio entre letras y palabras; y d) no se abusa de cursivas, versales y mayúsculas.

Si el gráfico no cumple con alguno de los requisitos, pero cumple con el indicador H14 (Redimensionado) se debe subir un punto la valoración. Por ejemplo, si se le asigna un 2 porque el tamaño del texto es inferior a 16px y por un interlineado inferior al requerido, el resultado final será de 3, entendiendo que la posibilidad de aumentar el tamaño del gráfico mejora su legibilidad.

4.2. H13 Calidad de imagen

4.2.1. Comprender el principio

El objetivo de este principio es asegurar que los gráficos, especialmente aquellos en formato de mapa de bits, cuentan con una calidad suficiente para su visualización en pantalla, y son capaces de soportar un redimensionado suficiente.

4.2.2. Cómo cumplir el principio

Cumplir con el principio requiere prestar atención a diversos aspectos de las imágenes:

- Dimensiones del píxel: un tamaño que permita aumentar la imagen hasta 200 veces sin que se pixele o aparezca borrosa.
- Formato: PNG preferentemente, o JPG con un nivel de compresión adecuado que asegure que la imagen no se pixela, aparece borrosa o con artefactos, incluso tras aumentar su tamaño hasta 200 veces.
- Resolución: 150 dpi, como mínimo.

Estas características se pueden observar en las propiedades de la imagen o mediante programas de análisis como MediaInfo.

4.2.3. Ejemplos de puntuaciones

- NA - Nunca se asignará este valor.
- NP - Nunca se asignará este valor.
- 0 - La imagen presenta una calidad insuficiente, resultando imposible leer el gráfico.
- 1 - La imagen impone dificultades al lector para leer el gráfico.
- 2 - La imagen presenta una calidad suficiente, si bien más de la mitad de los parámetros evaluados no cumplen con los requisitos descritos en 4.2.2.
- 3 - La imagen presenta una calidad suficiente, si bien menos de la mitad de los parámetros evaluados no cumplen con los requisitos descritos en 4.2.2.
- 4 - La imagen presenta una calidad excelente al cumplir con todos los parámetros descritos en 4.2.2.

4.3. H14 Redimensionado

4.3.1. Comprender el principio

El objetivo de este principio es que, sin el uso de ningún tipo de ayuda técnica, los gráficos puedan redimensionarse hasta un 200% sin que el contenido desaparezca o se solape con otros elementos de la interfaz, pudiéndose utilizar en las mismas condiciones que el gráfico en su tamaño inicial.

4.3.2. Cómo cumplir el principio

Cumplir el objetivo implica la posibilidad de hacer zoom con las herramientas nativas del navegador sin que la composición de la página se desconfigure de tal manera que el gráfico deje de poder consultarse u operar con él.

4.3.3. Ejemplos de puntuaciones

- NA - Este principio no permite esta puntuación, cualquier gráfico puede precisar ser redimensionado.
- NP - Este principio no permite esta puntuación, la imposibilidad de redimensionar el gráfico siempre es problemática.
- 0 - El gráfico no se puede aumentar hasta un 200% o cuando se aumenta se solapa totalmente con otros elementos, o desaparece totalmente de la interfaz.
- 1 - El gráfico se puede aumentar hasta un 200%, pero cuando se aumenta se solapa en parte con otros elementos o desaparece parcialmente de la interfaz.
- 2 - El gráfico se puede aumentar hasta un 200% sin solaparse o desaparecer.
- 3 - El gráfico se puede aumentar hasta un 200% sin solaparse o desaparecer, y sin provocar scroll horizontal al adaptarse la interfaz (responsive).
- 4 - El gráfico se puede aumentar incluso hasta más de un 200% sin solaparse ningún otro elemento, desaparecer parcialmente y adaptándose de manera responsiva a la pantalla de consulta.

4.4. H15 Sin obstáculos en la visualización

4.4.1. Comprender el principio

En ocasiones, los editores de contenido utilizan elementos como marcas de agua o de autoría que superponen a las imágenes dificultando su lectura. El objetivo de este principio es asegurar que ningún elemento externo al gráfico dificulte o impida parcialmente su lectura.

4.4.2. Cómo cumplir el principio

Evitando superponer elementos externos al gráfico o, en el caso de que sea totalmente necesaria su inclusión, incluirlos de manera que no dificulten o impidan su lectura.

4.4.3. Ejemplos de puntuaciones

- NA - Este principio no permite esta puntuación.
- NP - Este principio no permite esta puntuación, cualquier elemento que suponga un obstáculo en la visualización siempre es problemático.
- 0 - Alguna marca de agua, de autoría o publicidad se superpone al gráfico e impide totalmente su lectura.
- 1 - Nunca se asignará este valor.
- 2 - Alguna marca de agua, autoría o publicidad se superpone al gráfico e impide o dificulta parcialmente su lectura.
- 3 - Nunca se asignará este valor.
- 4 - No se muestra o aparece ningún obstáculo para la visualización del gráfico.

4.5. H16 Foco visible

4.5.1. Comprender el principio

El objetivo de este principio es asegurar que se muestra algún tipo de indicar visible para los elementos de un gráfico capaces de recibir el foco del ratón o el teclado.

4.5.2. Cómo cumplir el principio

La técnica más común es utilizar la hoja de estilos CSS para cambiar la presentación de los elementos de un gráfico cuando reciben el foco.

4.5.3. Ejemplos de puntuaciones

- NA - Este principio sólo aplica en el caso de los gráficos implementados con tecnologías web y no en aquellos en formato de mapa de bits. En el caso de los segundos, no existen elementos susceptibles de recibir el foco.
- NP - Este principio no permite esta puntuación, no mostrar el foco siempre es problemático.
- 0 - El foco del cursor o teclado no es visible.
- 1 - El foco del cursor o teclado es visible pero no en todos los elementos capaces de recibirlo.
- 2 - El foco del cursor o teclado es visible pero no presenta un contraste suficiente.
- 3 - Nunca se asignará este valor.

- 4 - El foco del cursor o teclado es visible y presenta un contraste suficiente.

5. Funcionalidades adicionales

5.1. H17 Navegación independiente del dispositivo

5.1.1. Comprender el principio

El objetivo de este principio es permitir a los usuarios que consultan gráficos dinámicos navegar entre las marcas y elementos del gráfico con diferentes interfaces como el ratón, el teclado o mediante gestos táctiles.

5.1.2. Cómo cumplir el principio

Para cumplir este principio los eventos o interacciones disponibles deben poder ser identificables y operarse mediante los diferentes tipos de interfaces disponibles. La compatibilidad con los lectores de pantalla es imprescindible en este punto. En este sentido, es necesario que, al menos, sea compatible con alguno de los dos lectores de pantalla más utilizados en la actualidad (JAWS y NVDA) (WebAIM, 2019).

5.1.3. Ejemplos de puntuaciones

- NA - Este principio sólo aplica en el caso de los gráficos implementados con tecnologías web y no en aquellos en los cuales no existen elementos navegables.
- NP - Este principio no permite esta puntuación, la imposibilidad de navegar con la interfaz más adecuada para cada perfil de usuario siempre es problemática.
- 0 - No es posible navegar a través de los elementos y marcas del gráfico.
- 1 - Sólo es posible navegar a través de una de las tres interfaces siguientes: ratón, gestos táctiles, o teclado.
- 2 - Sólo es posible navegar a través de dos de las tres interfaces siguientes: ratón, gestos táctiles, o teclado.
- 3 - Es posible navegar a través de de las tres interfaces siguientes: ratón, gestos táctiles, o teclado, aunque se utilizan atributos o elementos que el lector de pantallas no es capaz de anunciar.
- 4 - Es posible navegar entre los elementos y marcas del gráfico con cualquier tipo de interfaz y el lector de pantallas es capaz de anunciar todos los elementos disponibles.

5.2. H18 Personalización

5.2.1. Comprender el principio

El objetivo de este principio es permitir a los usuarios personalizar las características de los gráficos, modificando elementos relacionados con la paleta de colores utilizada, el contraste o el texto (fuente tipográfica, tamaño, interlineado, etc.)

5.2.2. Cómo cumplir el principio

Cumplir con este principio implica la utilización de estándares y tecnologías en la creación de los gráficos estadísticos y las páginas web en las que se encuentran, de manera que las ayudas técnicas pensadas para su personalización sean compatibles con ellos. Alternativamente, se puede alcanzar el principio, ofreciendo un sistema propio que permita personalizar la apariencia del gráfico.

5.2.3. Ejemplos de puntuaciones

- NA - Nunca se asignará este valor.
- NP - Nunca se asignará este valor.
- 0 - No se ofrece ninguna opción de personalización y tampoco es posible personalizar ningún aspecto mediante ayudas técnicas (filtros).
- 1 - Es posible personalizar algunas características como el color o contraste mediante filtros o las características del texto mediante alguna otra ayuda técnica.*
- 2 - Ver el comentario sobre la puntuación anterior.
- 3 - Se ofrecen múltiples opciones de personalización que cubren varios de los aspectos contemplados en 5.2.2.
- 4 - Se ofrecen múltiples opciones de personalización que cubren todos los aspectos contemplados en 5.2.2.

*Asignamos un 1 (*low compliance*) porque este tipo de filtros sólo ayudarán a unos pocos usuarios y para algunos casos muy concretos (por ejemplo, gráficos muy simples en los que el color no se utiliza para transmitir información.) Cuando el gráfico se crea mediante estándares web, es más factible que las ayudas técnicas puedan modificar las características del texto, cosa difícil o imposible con imágenes en formato de mapa de bits. En este caso, se podría sumar un punto y llegar a una puntuación de 2, valorando así el uso de texto real (personalizable) en lugar de una imagen de texto (no personalizable)

Referencias

- Evergreen, Stephanie; Emery, Ann, 2018. "Data visualization checklist". En: *Presenting data effectively*. Thousand Oaks, California: SAGE.
- Johansson, Roger, 2010. "Use uppercase text judiciously". En: *456 Bereast*. Disponible en: https://www.456bereastreet.com/archive/201012/use_uppercase_capitalised_text_judiciously/.
- Kitchel, J. Elaine, 2019. *APH guidelines for print document design*. APH. Disponible en: <https://www.aph.org/aph-guidelines-for-print-document-design/>.
- Nielsen, Jakob, 2002. "Let users control font size". *Nielsen Norman Group. Blog*, 2002. Disponible en: <https://www.nngroup.com/articles/let-users-control-font-size/>.
- Thompson, Terrill. "Alt length test". En: *Terrill Thompson: web accessibility, music, art, life*. Disponible en: <https://terрилthompson.com/tests/altlength.html>.
- W3C. Low Vision Accessibility Task Force, 2017a. *Spacing*. Disponible en: <https://www.w3.org/WAI/GL/low-vision-a11y-tf/wiki/Spacing>.
- W3C. Low Vision Accessibility Task Force, 2017b. *Capitalization*. Disponible en: <https://www.w3.org/WAI/GL/low-vision-a11y-tf/wiki/Capitalization>.
- W3C, 2019. Complex images. En: *Web Accessibility tutorials: guidance on how to create websites that meet WCAG*. Disponible en: <https://www.w3.org/WAI/tutorials/images/complex/>.
- WebAIM, 2019. *Screen Reader User Survey #8 results*. Disponible en: <https://webaim.org/projects/screenreadersurvey8/>.

Lista de figuras

Figura 1. Accesibilidad web, contexto e interrelaciones. _____	15
Figura 2. Simulación de baja agudeza visual. _____	21
Figura 3. Simulación del efecto de la degeneración macular. _____	24
Figura 4. Simulación del efecto del glaucoma. _____	24
Figura 5. Simulación del efecto de la retinopatía diabética. _____	25
Figura 6. Simulación del efecto de un desprendimiento de la retina. _____	26
Figura 7. Simulación de los efectos de las cataratas. _____	27
Figura 8. Simulación del efecto de la hemianopsia. _____	27
Figura 9. Simulación del efecto de la sensibilidad al contraste. _____	28
Figura 10. Simulación del efecto de la diplopía _____	29
Figura 11. Gráfico publicado en un artículo de la revista <i>Nature</i> y simulación del efecto de la acromatopsia. _____	30
Figura 12. Las pantallas retroiluminadas en situaciones de luz brillante reducen la capacidad de cualquier persona para apreciar el contraste. _____	31
Figura 13. Fuentes tipográficas Tiresias, Eido, APHont y Maxular de Steven Skaggs. ____	48
Figura 14. Variantes de la fuente tipográfica Roboto diseñada por Christian Robertson. Una fuente diseñada para ser utilizada en dispositivos con pantallas pequeñas. _____	49
Figura 15. Es la parte superior. Itálica real vs. itálica electrónica. En la parte inferior, negrita real vs. negrita electrónica. _____	50
Figura 16. Diferentes fuentes tipográficas con distintas alturas de la x. En la selección de fuentes tipográficas se observa cómo, la fuente Montserrat con una mayor altura x y con los mismos puntos que la Lato o la Gill Sans, aparenta ser mayor a estas dos últimas. _____	51
Figura 17. En la parte superior, fuente Montserrat (números proporcionales). En la parte inferior, fuente Lato (números tabulares). _____	52

Figura 18. Números modernos y elzeverianos aplicados a la fuente Roboto. _____ 52

Figura 19. En la parte superior, se observa el sitio web basketball.realgm.com al 100% y al 125% de su tamaño, zoom máximo impuesto mediante la metaetiqueta *viewport*. En la parte inferior, el sitio web nba.com no impone ningún límite al usuario a la hora de ampliar el contenido _____ 56

Figura 20. Tabla visualizada al 100% y vista de la misma tabla redimensionada mediante la herramienta de zoom integrada en el navegador. En el segundo caso, se pierde el contexto de los encabezados de cada fila, además de desbordar el tamaño de la ventana gráfica del navegador, imposibilitando la visualización de la tabla completa _____ 59

Figura 21. Versión adaptada a dispositivos móviles de la tabla anterior, la cual mediante reglas *media query* permite dejar de mostrar la fila de encabezado en la versión móvil, para mostrar esos mismos valores junto a sus respectivas celdas de datos. En este caso, la tabla no desborda en ningún momento el ancho de la pantalla _____ 60

Figura 22. NoCoffee Simulator es una de las herramientas más populares para la simulación de la visión tricromática anómala y dicromática _____ 65

Figura 23. Interfaz de la herramienta ColorBrewer 2.0 que permite seleccionar esquemas de color secuenciales, divergentes y cualitativos para su uso en mapas y otro tipo de visualizaciones. Entre sus opciones, encontramos la posibilidad de escoger esquemas aptos para personas con VCD, incluida la VCD total o acromatopsia _____ 66

Figura 24. Otras herramientas populares entre diseñadores como Adobe color Wheel también han incorporado recientemente validadores de accesibilidad para sus combinaciones de colores. En la imagen, se observa un aviso en relación con la posible dificultad para diferenciar los colores B y C, así como un simulador que muestra cómo determinados perfiles de usuario con VCD percibirán esos colores _____ 67

Figura 25. La herramienta Colors también ofrece un simulador de perfiles con VCD _____ 67

Figura 26. Gráfico y ejemplo de descripción larga _____ 70

Figura 27. Si la imagen en formato de mapa de bits no presenta una calidad suficiente, tras redimensionarla será mucho más difícil o imposible su lectura _____ 71

Figura 28. Si la imagen no presenta una calidad suficiente, al redimensionarse, la línea de un gráfico creado en formato de mapa de bits puede ser percibida por una persona con baja visión con ondulaciones o incluso como un conjunto de múltiples líneas _____ 72

Figura 29. Diagrama de cajas y bigotes implementado con la tecnología de Progressive Accessibility Solutions. En la parte izquierda, se muestra la vista inicial del gráfico. En la derecha, el mismo gráfico con contraste invertido y subtítulos que ofrecen información textual acerca de su contenido _____	75
Figura 30. Gráfico estadístico en formato SVG resultante del código anterior. Fuente: Elaboración propia _____	77
Figura 31. Ejemplo de uso de ATbar para la personalización de la fuente tipográfica y el interlineado de la página de inicio de la Universitat de Lleida _____	79
Figura 32. Interacción Persona-Visualización _____	91
Figura 33. Población con discapacidad visual en el mundo según tipo de discapacidad _____	93
Figura 34. Población con discapacidad visual en España según tipo de discapacidad _____	94
Figura 35. Gráfico estadístico personalizado según el país del usuario, mostrado en los resultados de Google durante toda la crisis derivada de la enfermedad del Covid-19 ___	99
Figura 36. Diagrama de flujo de la metodología utilizada_____	111
Figura 37. Diagrama del proceso seguido para la conducción de las evaluaciones heurísticas _____	114
Figura 38. <i>The Guardian</i> , uno de los medios analizados en la evaluación de gráficos estadísticos del sector de la prensa escrita, demostró su buen hacer en la creación de gráficos estadísticos durante el escrutinio de los resultados electorales de las elecciones presidenciales norteamericanas de 2020. En la imagen, se observa el gráfico de barras horizontales utilizado para mostrar los resultados de cada estado, acompañado por una explicación que contextualiza los resultados y explica su importancia en el resultado final _____	278
Figura 39. En el ejemplo, mediante la extensión de navegador ATbar es posible modificar la fuente tipográfica e interlineado del título y menús de la página de información sobre el Grado en Ingeniería Informática de la UdL. No obstante, los estilos aplicados a los gráficos dinámicos de la parte inferior son más específicos por lo que no es posible modificarlos mediante esta ayuda técnica _____	279

Lista de tablas

Tabla 1. Clasificación de las discapacidades visuales según la Organización Mundial de la Salud (1980) y equivalencia en la clasificación IBSA_____	22
Tabla 2. Resumen de los tipos de pérdida de visión y patologías asociadas_____	33
Tabla 3. Ejemplo de tabla y código HTML accesible _____	62
Tabla 4. Selección de algunas bibliotecas de software y aplicaciones para la generación de gráficos estadísticos basados en la Web _____	73
Tabla 5. Principales barreras para los usuarios con baja visión en la Web y soluciones habituales _____	80
Tabla 6. Criterios de conformidad de las WCAG orientados a usuarios con baja visión y aplicables a los gráficos estadísticos _____	107
Tabla 7. Lista de publicaciones que conforman la tesis doctoral _____	115
Tabla 8. Resumen de los beneficios asociados a otros perfiles de usuario derivados del cumplimiento de los indicadores heurísticos propuestos_____	281

