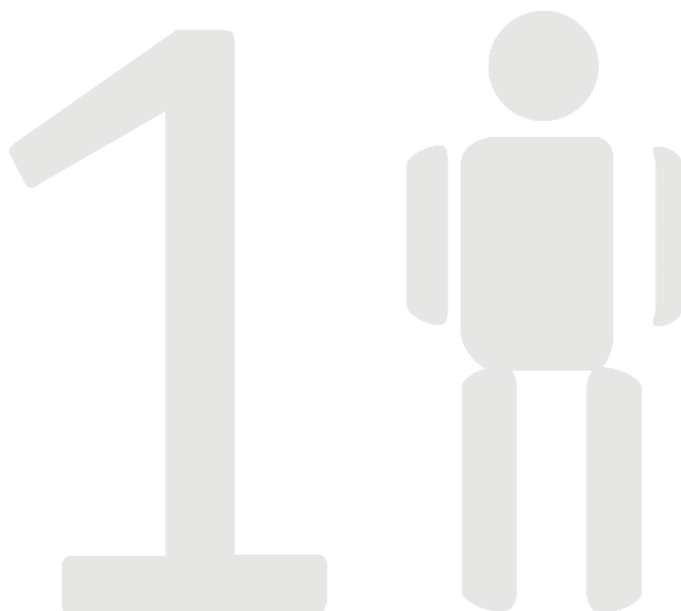


Bones pràctiques per a la creació de textos alternatius i descripcions llargues per a visualitzacions de dades

Rubén Alcaraz-Martínez

Mireia Ribera

Marina Salse Rovira



Crèdits

Grup d'innovació docent Adaptabit
Universitat de Barcelona

Autors: Rubén Alcaraz Martínez; Mireia Ribera; Marina Salse Rovira

Obra distribuïda sota una llicència Creative Commons BY-SA 4.0



Aquest informe forma part dels resultats del projecte Repositori de recursos per crear visualitzacions de dades accessibles amb codi 2025RSU-UB/005, en el marc de la convocatòria d'ajuts a projectes sobre responsabilitat social universitària en la docència 2025, concedit pel Programa de Recerca i d'Innovació per a la Millora de la Docència i l'Aprenentatge (RIMDA) de la Universitat de Barcelona.

El projecte ha estat coordinat per Rubén Alcaraz Martínez i amb la participació de: Jordi Barea Colomer, Silvia Andrea Cristian Ladaga, Lluç Massaguer Busqueta, Mireia Ribera Turró, Marina Salse Rovira, Rosa María Satorras Fioretti, Bruno Splendiani i Clara Zabala Aguilar

Agraïments

Agraïm a Huw Alexander i a textBOX Digital la seva amabilitat per facilitar-nos l'accés als seus materials i recursos: <https://www.textboxdigital.com>

Cita recomanada

Alcaraz Martínez, Rubén; Ribera, Mireia; Salse Rovira, Marina (2026). *Bones pràctiques per a la creació de textos alternatius i descripcions llargues per a visualitzacions de dades*. Barcelona: Grup d'innovació docent Adaptabit, Universitat de Barcelona. <https://doi.org/10.5281/zenodo.23013178>

Resum

L'informe sistematitza bones pràctiques per crear textos alternatius i descripcions llargues de visualitzacions de dades. Parteix de la importància de les alternatives textuais, analitza les dificultats de producció, estableix principis generals i recomanacions per tipus de visualització, i revisa directrius internacionals rellevants, incloent-hi mecanismes tècnics d'implementació web i ofimàtica.

Paraules clau

Alternatives textuais, Visualització de dades, Gràfics estadístics, Accessibilitat digital

Resumen

El informe sistematiza buenas prácticas para crear textos alternativos y descripciones largas de visualizaciones de datos. Parte de la importancia de las alternativas textuales, analiza las dificultades de producción, establece principios generales y recomendaciones por tipo de visualización, y revisa directrices internacionales relevantes, incluyendo mecanismos técnicos de implementación web y ofimática.

Palabras clave

Alternativas de texto, Visualización de datos, Gráficos estadísticos, Accesibilidad digital

Abstract

The report systematises good practices for creating alternative text and long descriptions for data visualisations. It starts from the importance of textual alternatives, analyses the difficulties involved in their production, establishes general principles and recommendations by type of visualisation, and reviews relevant international guidelines, including technical mechanisms for their implementation on the web and in office software.

Keywords

Textual alternatives, Data visualisation, Statistical charts, Digital accessibility

Contingut

1. Introducció	5
2. Objectius.....	5
3. Les alternatives de text	6
3.1. Funció, abast i importància de les alternatives textuais	6
3.2. Dificultats en la producció d'alternatives textuais de qualitat	6
3.3. Complexitat específica de les visualitzacions de dades.....	6
3.4. Principis generals per a la redacció de textos alternatius i descripcions llargues.....	7
3.4. Arquitectura funcional: text alternatiu breu, descripció llarga i taula de dades	8
3.5. Objectiu comunicatiu de les alternatives textuais	8
3.6. Estructura discursiva i navegació de les descripcions llargues	9
3.7. Recomanacions segons el tipus de visualització	10
3.7.1. Gràfics de barres i de línies.....	10
3.7.2. Visualitzacions multivariants i gràfics amb diverses sèries.....	10
3.7.3. Mapes i visualitzacions espacials	11
3.7.4. Grafs i xarxes.....	11
3.7.5. Quadres de comandament i col·leccions de visualitzacions.....	11
3.7.6. Visualitzacions altament especialitzades	12
3.7.7. Descripcions interactives i informació a demanda.....	12
3.8. Directrius i marcs de referència fora de l'àmbit acadèmic	13
3.8.1. Recomanacions del W3C per a imatges complexes	13
3.8.2. Directrius del Diagram Center	14
3.8.3. Marc metodològic de textBOX.....	14
3.9. Mecanismes tècnics per implementar descripcions accessibles al web	16
Referències.....	17

1. Introducció

Aquest informe s'inscriu en el marc del projecte *Repositori de recursos per crear visualitzacions de dades accessibles*, impulsat pel grup d'innovació docent Adaptabit de la Universitat de Barcelona. El projecte parteix de la necessitat de fomentar l'ús de recursos accessibles i inclusivius en la visualització de dades dins l'àmbit acadèmic, mitjançant la creació i difusió d'un repositori de plantilles, guies i exemples orientats a millorar les competències digitals, comunicatives i ètiques del professorat i l'estudiantat.

En aquest context, l'informe *Bones pràctiques per a la creació de textos alternatius i descripcions llargues per a visualitzacions de dades* sistematitza criteris, recomanacions i marcs de referència per orientar la redacció de descripcions accessibles i adaptades a diferents tipus de visualitzacions. L'objectiu és oferir una base conceptual i aplicada que faciliti la producció de recursos docents més inclusivius i accessibles.

2. Objectius

La creació d'un repositori de recursos per elaborar visualitzacions de dades accessibles requereix disposar d'un marc de referència específic per a la redacció de textos alternatius i descripcions llargues. Tot i que existeixen aportacions rellevants procedents de l'àmbit de l'accessibilitat web, la visualització de dades, la comunicació científica i les guies professionals, les recomanacions sobre aquesta qüestió sovint apareixen disperses en estàndards, tutorials, articles acadèmics i recursos especialitzats. Per aquest motiu, resulta necessari sistematitzar aquest coneixement i traduir-lo en criteris aplicables a la descripció accessible de visualitzacions de dades.

A partir d'aquest plantejament, aquest informe recull un conjunt de bones pràctiques s'han de seguir per redactar i codificar textos alternatius i descripcions llargues per a visualitzacions de dades accessibles.

De manera complementària, l'informe vol contribuir a establir una base comuna per avaluar la qualitat, la claredat i l'adequació de les alternatives textuais i les descripcions llargues associades a visualitzacions de dades. Aquesta base ha de permetre orientar tant la creació del repositori com les activitats formatives vinculades al projecte, afavorint que professorat i estudiantat incorporin criteris d'accessibilitat, precisió, comprensibilitat i disseny universal en la comunicació textual de la informació visual.

3. Les alternatives de text

3.1. Funció, abast i importància de les alternatives textuais

Les alternatives textuais són un mecanisme mitjançant el qual la informació visual d'una imatge es representa textualment perquè pugui ser consumida per persones cegues, amb baixa visió o fins i tot per alguns altres perfils d'usuari, a través de lectors de pantalla o línies Braille (Edwards *et al.*, 2023).

Les alternatives textuais constitueixen un requisit fonamental per a l'accessibilitat (Bellscheidt *et al.*, 2023; Edwards *et al.*, 2023), especialment en el context educatiu, ja que permeten a les persones amb discapacitat visual accedir a la informació continguda en imatges mitjançant les ajudes tècniques esmentades anteriorment.

3.2. Dificultats en la producció d'alternatives textuais de qualitat

La redacció d'alternatives textuais de qualitat és difícil, tant quan les elaboren íntegrament persones com quan es generen amb eines semiautomatitzades o totalment automatitzades. Molts autors les obliden, les perceben com a complicades, les consideren una tasca que requereix molt de temps (Bellscheidt *et al.*, 2023), les obvien conscientment o les redacten amb una qualitat molt variable, degut principalment a la manca de temps i a la incertesa sobre quina informació s'hi ha d'incloure (Mack *et al.*, 2021). En el cas de les alternatives creades mitjançant mètodes automatitzats, la literatura informa de problemes d'inexactitud, manca de detall o errors ofensius, així com d'un nivell de qualitat molt variable (Bellscheidt *et al.*, 2023; Mack *et al.*, 2021).

3.3. Complexitat específica de les visualitzacions de dades

En el cas de les visualitzacions de dades, la redacció d'alternatives textuais és particularment complexa, ja que aquestes imatges solen contenir notació simbòlica, relacions estructurals, dades quantitatives i conceptes especialitzats.

Les alternatives textuais han de transmetre el propòsit i el contingut informatiu de la imatge, i no limitar-se a repetir el peu de figura ni el text circumdant (Risi, 2025). Per això, la preparació d'aquest tipus d'alternatives requereix competència, precisió i coneixement del domini, i no sempre es pot resoldre fàcilment mitjançant solucions genèriques (Cardia *et al.*, 2025) o totalment automatitzades.

Des del punt de vista organitzatiu, les alternatives textuais no solen tenir una assignació clara de responsabilitat, a diferència del text principal o de les imatges, que sí que acostumen a tenir autors clarament identificats. Això contribueix al fet que se solen produir tard en els fluxos de treball editorials, de manera precipitada o sense revisió especialitzada (Edwards *et al.*, 2023).

En la pràctica, les alternatives textuais brillen per la seva absència, són inconsistents (Morris *et al.*, 2018; Joyner *et al.*, 2022) o inadequades (Alcaraz *et al.*, 2025b; Marriot *et al.*, 2021). En molts casos, les alternatives textuais associades a visualitzacions de dades provenen directament dels peus d'imatge, els quals no van ser redactats amb finalitats d'accessibilitat. Aquests textos solen estar orientats a lectors que poden veure les visualitzacions, compleixen funcions referencials o retòriques, i no tenen la claredat descriptiva requerida per al seu ús amb lectors de pantalla (Cardia *et al.*, 2025).

Des d'un punt de vista tecnològic, la manera d'introduir alternatives textuais no ha evolucionat substancialment, malgrat l'evolució de la tecnologia i l'augment exponencial de l'ús i la importància de les imatges digitals (Morris *et al.*, 2018). Així, l'atribut *alt*, introduït amb HTML 2.0 el 1995, continua funcionant exactament igual. Una cosa similar ocorre amb l'atribut *longdesc*, que, des del 2015, només és admès dins d'una extensió específica d'HTML (HTML Image Description Extension) (W3C, 2015). El fet que *longdesc* no formi part central d'HTML provoca que diversos navegadors i ajudes tècniques no li donin suport. WAI-ARIA, publicada el 2014, va ser una de les darreres millores i va incorporar els atributs *aria-describedby*, per referenciar una descripció del gràfic, i *aria-labelledby*, per referenciar el títol del gràfic. Aquests dos atributs sí que compten amb un bon suport en els navegadors web i altres agents d'usuari.

3.4. Principis generals per a la redacció de textos alternatius i descripcions llargues

La literatura publicada coincideix que no existeix una descripció textual universalment vàlida per a totes les visualitzacions de dades, ja que les necessitats informatives depenen del perfil d'usuari, del context d'ús i de la tasca. Les preferències sobre quina informació s'ha d'incloure en un text alternatiu o en una descripció llarga varien, per exemple, segons si l'usuari vol comprendre el missatge principal, explorar dades, comparar valors o prendre decisions (Tang *et al.*, 2023). Cada tipus de gràfic imposa exigències semàntiques i estructurals pròpies, derivades de les seves convencions de codificació visual i dels tipus de tasques analítiques que admet. En conseqüència, les descripcions accessibles

s'han d'adaptar explícitament a aquestes diferències, incorporant elements informatius específics i recorrent a patrons estructurals que facilitin la navegació, la comprensió progressiva i la personalització de la informació (Jung *et al.*, 2022; Lundgard i Satyanarayan, 2021; Sharif *et al.*, 2022a; 2022b; 2023; Tang *et al.*, 2023) a demanda (Oliveira *et al.*, 2023). En aquest sentit, Yang *et al.* (2025) destaquen que els usuaris amb discapacitat visual prefereixen descripcions que integrin diferents nivells de detall, amb un èmfasi especial en els aspectes perceptius i interpretatius davant del context narratiu extern.

3.4. Arquitectura funcional: text alternatiu breu, descripció llarga i taula de dades

De manera transversal, la literatura recomana separar funcionalment el text alternatiu breu, la descripció llarga i, quan escau, la taula de dades subjacent. El text alternatiu breu constitueix una primera aproximació no suficient per garantir l'accessibilitat de les visualitzacions de dades (Strantz, 2021), que s'ha de limitar a identificar la figura i la seva funció, així com a orientar l'usuari –existència del gràfic, tema general...– (Alcaraz *et al.*, 2025a; Stelea *et al.*, 2025), amb una extensió aproximada d'entre 125 i 150 caràcters (Risi, 2025), mentre que la descripció llarga –situada fora de l'atribut alt– assumeix la càrrega semàntica principal, incorporant estructura, patrons i relacions (Stelea *et al.*, 2025; Tang *et al.*, 2023). Per la seva banda, les taules permeten l'accés a valors detallats i l'anàlisi secundària (Chintalapati *et al.*, 2022; Fan *et al.* 2022; Ferres *et al.*, 2013; Jung *et al.*, 2022; Moraes, 2014; Sharif *et al.* 2021; Williams *et al.*, 2022).

3.5. Objectiu comunicatiu de les alternatives textuais

L'objectiu principal de les alternatives textuais no és descriure l'aparença visual del gràfic ni enumerar dades puntuals, sinó transmetre la idea principal o el missatge que el gràfic pretén comunicar (Kim *et al.*, 2021). Les descripcions llargues, en concret, s'han d'integrar en un ecosistema accessible que inclogui títols clars, eixos ben etiquetats i llegendes comprensibles. Quan aquests elements fallen, ni tan sols una alternativa textual compensa completament la pèrdua d'accessibilitat (Alcaraz *et al.*, 2025a). Per la seva banda, Joyner *et al.* (2022) distingeixen entre alternatives no descriptives –quan el text no aporta informació útil sobre el gràfic–, alternatives descriptives –quan descriu elements com ara eixos o etiquetes– i alternatives informatives –quan comunica aspectes avançats com ara una tendència o el missatge del gràfic–. De fet, en certs casos, les representacions

purament textuais o tabulars resulten més comprensibles o atractives que determinats tipus de gràfics (Gubala i Melonçon, 2022).

3.6. Estructura discursiva i navegació de les descripcions llargues

Des del punt de vista estructural, diversos autors coincideixen a descriure'ls mitjançant el patró jeràrquic visió general > grups > detalls, que comença amb la identificació del tipus de gràfic (Yang *et al.*, 2025) i el propòsit o la conclusió principal, continua amb l'explicació dels eixos i les variables, i finalitza amb resums per grup o detalls opcionals, amb el suport d'encapçalaments i llistes per facilitar la navegació a través de lectors de pantalla (Alam *et al.*, 2023; Jung *et al.* 2022; Lundgard i Satyanarayan, 2021; Sharif *et al.*, 2022a; 2022b; 2023; Seo *et al.*, 2024). Començar per informació estructural bàsica, com ara el tipus de gràfic, el seu propòsit general i els eixos, i progressar cap a informació analítica i sintètica, incloent-hi valors destacats, tendències globals, comparacions rellevants i patrons complexos, és un enfocament seqüencial que facilita la construcció gradual d'un model mental de la visualització (Tang *et al.*, 2023).

Les limitacions observades per Zabala *et al.* (2024) en els lectors de pantalla pel que fa a la lectura de les etiquetes dels eixos són una altra de les raons que motiven la recomanació d'incloure explícitament els noms i els rangs dels eixos en les descripcions textuais. Els mateixos autors recullen certs requisits per als usuaris de línies Braille, com ara estructurar la informació en blocs fàcilment consultables, marcar salts o punts de referència clars i evitar signes de puntuació excessius que dificultin la lectura tàctil (Yang *et al.*, 2025; Zabala *et al.*, 2024).

En línies generals, s'opta per descripcions completes que funcionin com una alternativa real al gràfic, però evitant textos excessivament llargs, els quals poden ser contraproductius per a la comprensió si, a més, inclouen un excés d'elements descrits (Kim *et al.*, 2021; Oliveira *et al.*, 2023; Zabala *et al.*, 2024). Si cal, es prefereix dividir els gràfics complexos en dos o més gràfics per facilitar-ne la lectura (Zabala *et al.*, 2024). També és recomanable utilitzar una terminologia i un llenguatge clars, així com evitar termes ambigus (Zabala *et al.*, 2024). Localitzar les descripcions en l'idioma de l'usuari també és necessari per evitar dependre de les descripcions generades automàticament a partir de les característiques d'accessibilitat de les biblioteques de programari utilitzades (Zabala *et al.*, 2024).

3.7. Recomanacions segons el tipus de visualització

3.7.1. Gràfics de barres i de línies

Els gràfics de barres i de línies constitueixen el tipus de visualització amb més cobertura i consens metodològic en la literatura. Les descripcions textuais han d'incloure, de manera explícita, la variable o el fenomen representat, les dimensions comparades –categories, períodes temporals o altres eixos–, així com els valors essencials –màxims, mínims, fites i punts clau d'interpretació–, tendències globals i comparacions rellevants entre categories o sèries (Zabala *et al.*, 2024). Elements del gràfic com el tipus, el títol, els eixos, el nombre de barres, els noms i els valors; i, en el cas dels gràfics de barres apilades, els grups i les sèries s'han d'incorporar a l'alternativa textual (Balaji *et al.*, 2018; Oliveira *et al.*, 2023). Atès que la interacció dels usuaris cecs es basa en una lectura seqüencial, Zabala *et al.* (2024), a partir del treball amb usuaris, observen la necessitat d'indicar quants punts o valors conté la sèrie, sobretot quan es tracta d'un nombre elevat. La literatura subratlla que, més enllà d'enumerar valors individuals, la descripció ha de capturar els patrons dominants, com ara increments, descensos, estabilitat o canvis bruscos, ja que aquests constitueixen el missatge analític principal del gràfic (Elzer *et al.*, 2018; Ferres *et al.*, 2013; Moraes, 2014; Oliveira *et al.*, 2020; 2023; Yang *et al.*, 2025). Percebre aquestes tendències i patrons és precisament un dels reptes més difícils amb què es troben els usuaris cecs (Zabala *et al.*, 2024). És important tenir en compte que les descripcions accessibles no s'han de limitar a enumerar elements visuals –per exemple, colors, posicions o formes–, sinó que han de comunicar significat (Tang *et al.*, 2023). En aquest mateix sentit, les conclusions de Kim *et al.* (2021) són que les alternatives textuais més ben valorades combinen informació estructural mínima –tipus de gràfic, eixos i rangs generals– amb interpretació d'alt nivell, sense arribar al detall exhaustiu de tots els valors.

3.7.2. Visualitzacions multivariants i gràfics amb diverses sèries

En visualitzacions que combinen múltiples variables –com ara gràfics agrupats, apilats o amb codificació simultània per color, forma o mida–, les descripcions han d'identificar clarament quina variable s'associa a cada canal visual i com interactuen entre si. Resulta imprescindible explicitar l'estructura de comparació i evitar descripcions lineals que no reflecteixin la lògica visual subjacent (Alam *et al.*, 2023; Lundgard i Satyanarayan, 2021; Seo *et al.*, 2024). Zabala *et al.* (2024) recomanen, a més, incorporar en la descripció una llegenda altament informativa

que faciliti als usuaris orientar-se en els gràfics compostos per diverses sèries. En aquest sentit, en gràfics amb més d'una sèrie, l'alternativa textual del gràfic ha de descriure cada categoria/sèrie i el seu significat, i no només esmentar-les.

En aquests casos, la literatura destaca la utilitat del model estructura–navegació–descripció, que separa l'organització lògica dels elements, els mecanismes per recórrer-la i la narració semàntica associada a cada node, permetent exploracions no lineals i múltiples punts d'entrada segons les necessitats de l'usuari (Elavsky *et al.*, 2023; Gorniak *et al.*, 2023; Jones *et al.*, 2023; Sharif *et al.*, 2022a; 2022b; 2023; Zong *et al.*, 2022; Zong, 2025).

3.7.3. Mapes i visualitzacions espacials

En mapes i visualitzacions espacials, les descripcions s'han de centrar en relacions espacials significatives, com ara concentracions geogràfiques, gradients, regions extremes o patrons de distribució. La literatura assenyala que no n'hi ha prou amb enumerar ubicacions, sinó que cal explicar com varien les dades en l'espai i quines àrees resulten rellevants per a la interpretació (Li *et al.*, 2024; Williams *et al.*, 2022). Tot i que les representacions cartogràfiques es poden beneficiar del patró jeràrquic general exposat anteriorment, els estudis revisats indiquen que la generació de descripcions significatives depèn en gran mesura de models semàntics específics del domini, fet que limita l'eficàcia dels enfocaments genèrics i reforça la necessitat de regles adaptades al context geoespacial.

3.7.4. Grafs i xarxes

Per als grafs i les xarxes, el contingut descriptiu clau resideix en l'estructura relacional i no en l'aparença visual. Les descripcions han d'identificar els tipus d'entitats, la naturalesa de les relacions, els nodes centrals, les comunitats o les jerarquies rellevants. La literatura mostra que aquestes visualitzacions es beneficien especialment de descripcions basades en *tokens* semàntics (unitats textuais reutilitzables com ara informació d'eixos, resums de connectivitat o llistes de nodes destacats) que es poden activar o desactivar segons el nivell de detall desitjat (Ferres *et al.*, 2010; 2013; Jones *et al.*, 2023; Kanthara *et al.*, 2022; Moraes *et al.*, 2014; Obeid i Hoque. 2020).

3.7.5. Quadres de comandament i col·leccions de visualitzacions

Quan les visualitzacions es mostren en quadres de comandament o formen part d'una col·lecció de visualitzacions, el principal repte identificat és la coordinació semàntica entre múltiples vistes. Les descripcions accessibles han d'explicar el

propòsit global del conjunt, la funció de cada component i les relacions entre aquests, incloent-hi filtres, indicadors clau i vistes enllaçades. La literatura subratlla que no n'hi ha prou amb descriure cada gràfic de manera aïllada, sinó que cal explicar el model d'interacció i els fluxos d'ús típics (Fan *et al.*, 2022; Srinivasan *et al.*, 2023; Stelea *et al.*, 2025). Per a aquests casos, es documenta l'ús de narratives a escala de quadre de comandament, combinades amb descripcions per component i estructures de navegació jeràrquiques que permetin accedir tant a la visió general com als detalls específics (Elavsky *et al.*, 2023; Srinivasan *et al.*, 2023). Aquestes descripcions també han de ser dinàmiques i sensibles al context, especialment en entorns de dades en temps real, actualitzant-se quan canvien les dades i mantenint la coherència entre estats successius, evitant tant la repetició innecessària com la pèrdua d'informació rellevant. Aquest requisit va més enllà de l'accessibilitat normativa i se situa en el terreny de la usabilitat cognitiva (Stelea *et al.*, 2025).

3.7.6. Visualitzacions altament especialitzades

En visualitzacions altament especialitzades, com les emprades en genòmica, la literatura indica que les descripcions s'han de basar en estructures de navegació en forma d'arbre, que representin explícitament l'organització interna de la visualització –per exemple, pistes, subpistes i canals–, amb descripcions textuais associades a cada node (Elavsky *et al.*, 2023; Smits *et al.*, 2024; Srinivasan *et al.*, 2023). En aquests contextos, la incorporació de coneixement de domini explícit i la intervenció humana en la redacció de les descripcions es consideren essencials.

3.7.7. Descripcions interactives i informació a demanda

De manera complementària, alguns treballs proposen abandonar les descripcions monolítiques i adoptar paradigmes de preguntes i respostes o “fets de dades”, que permeten als usuaris sol·licitar informació concreta a demanda, alineant-se amb estils actius de cerca d'informació (Gorniak *et al.*, 2023; Lecardonnel *et al.*, 2025; Seo *et al.*, 2024; Sharif *et al.*, 2022a; 2022b; 2023; Wang i Kim, 2023).

3.8. Directrius i marcs de referència fora de l'àmbit acadèmic

3.8.1. Recomanacions del W3C per a imatges complexes

Fora de l'àmbit acadèmic, les recomanacions del W3C reforcen i formalitzen molts dels principis identificats en la literatura acadèmica. El tutorial d'imatges del W3C defineix les imatges complexes com aquelles que contenen informació substancial que no es pot transmetre adequadament mitjançant un text alternatiu breu, incloent-hi explícitament gràfics i diagrames, mapes i visualitzacions el contingut de les quals és essencial per a la comprensió del text circumdant (Egger i Abou-Zahra, 2022).

Per a aquest tipus d'imatges, el W3C estableix de manera explícita la necessitat d'una alternativa textual en dues parts. La primera consisteix en una descripció breu, normalment proporcionada mitjançant l'atribut *alt*, la funció de la qual és identificar la imatge i el seu propòsit general. La segona és una descripció llarga, entesa com una representació textual completa de la informació essencial que transmet la visualització, incloent-hi valors, relacions, estructures i tendències rellevants (Egger i Abou-Zahra, 2022). Aquest enfocament normatiu s'alinea directament amb la separació funcional entre text alternatiu breu, descripció llarga i taula de dades documentada en la literatura revisada anteriorment.

El tutorial del W3C subratlla, a més, que, en algunes visualitzacions, la composició visual constitueix en si mateixa informació rellevant. En gràfics estadístics, per exemple, poden ser significatius no només els valors numèrics, sinó també la disposició espacial, l'alçada relativa de les barres, la seqüència cromàtica o l'organització visual dels elements. En aquests casos, la descripció llarga ha de recollir tant les dades com els aspectes estructurals que contribueixen a la seva interpretació (Egger i Abou-Zahra, 2022).

Des d'una perspectiva d'accessibilitat àmplia, el W3C assenyala que les imatges complexes poden resultar difícils de comprendre per a múltiples perfils d'usuaris, incloses persones amb baixa visió, discapacitats cognitives o experiència limitada en el domini tractat. Per aquest motiu, recomana que les descripcions llargues estiguin disponibles per a tots els usuaris, per exemple, integrant-les com a part visible del contingut principal, i no únicament com a recursos ocults per a les ajudes tècniques. Així mateix, se suggereix reduir la complexitat innecessària de les imatges i reforçar-ne la interpretació des del text circumdant, mitjançant referències explícites que resumeixin el missatge principal de la visualització (Egger i Abou-Zahra, 2022).

3.8.2. Directrius del Diagram Center

Altres directrius de referència en aquest àmbit són les *Image description guidelines* del Diagram Center (2015), una organització sense ànim de lucre amb el suport de l'Oficina de Programes d'Educació Especial del Departament d'Educació dels EUA, i centrada en la recerca i el desenvolupament en l'àmbit de la producció de contingut digital accessible per a materials educatius, especialment, encara que no exclusivament, en les àrees STEM.

Les directrius del Diagram Center suggereixen descriure el tipus d'imatge i el seu propòsit abans d'entrar en detalls. D'altra banda, requereixen que la descripció tingui un ordre lògic i clar –per exemple, valors ordenats de menor a major–, evitant repeticions innecessàries i ressaltant la informació essencial en primer lloc. Les descripcions han de ser clares, breus i consistents, ajustant el llenguatge a l'audiència. També indiquen que s'ha de descriure la informació essencial per comprendre cada gràfic –incloent-hi eixos, títols i dades clau– i, quan correspon –sempre que es tracta d'una imatge complexa–, oferir una taula accessible amb les dades completes. Pel que fa als atributs visuals com el color, adverteixen que no cal descriure'ls llevat que s'hi faci referència explícita en el contingut contextual. Per exemple, indiquen que és convenient descriure'ls si el gràfic es genera en el context d'una prova o examen, i alguna de les seves preguntes hi fa referència explícita. Un element final que cal considerar és la possibilitat d'utilitzar llistes o taules en lloc de gràfics quan les visualitzacions comuniquin un conjunt de dades molt simple.

3.8.3. Marc metodològic de textBOX

Un altre conjunt de recomanacions rellevants per a aquest treball són les proposades per textBOX (2025),¹ una companyia britànica especialitzada en la redacció d'alternatives textuais. El seu marc metodològic s'articula al voltant d'una seqüència de passos que busquen garantir que la informació visual es transformi en una descripció textual estructurada, comprensible i coherent per als usuaris de lectors de pantalla.

De manera transversal per a tots els tipus de gràfics, textBOX estableix que tota alternativa textual ha de començar identificant el tipus de visualització i el títol del gràfic, seguit d'una descripció explícita de la seva estructura. Aquesta descripció estructural compleix una funció d'orientació espacial, que permet a l'usuari construir un model mental del gràfic abans d'accedir a les dades concretes. En

¹ <https://www.textboxdigital.com>

aquest sentit, es considera essencial especificar els eixos, les variables representades i el nombre de categories o sèries de dades presents.

Un dels elements conceptuals centrals de l'enfocament de textBOX és la distinció entre un element focal (*focus element*) i els elements de recorregut (*locus elements*). L'element focal actua com a punt d'entrada cognitiu a la visualització i varia segons el tipus de gràfic. En els gràfics de línies correspon al primer conjunt de valors d'una variable; en els gràfics de sectors, a la categoria amb més pes quantitatiu; i en els diagrames de dispersió, a la tendència dominant identificable en les dades. A partir d'aquest focus inicial, la descripció progressa seguint un recorregut lògic i consistent a través de la resta d'elements, allò que textBOX denomina el "camí" o *pathway* de la descripció.

En els gràfics de línies, les recomanacions emfasitzen la necessitat de descriure de manera seqüencial els valors de cada variable al llarg de l'eix temporal, mantenint juntes les sèries corresponents a cada categoria quan existeixen múltiples línies, amb la finalitat de facilitar la comparació. La descripció ha d'incloure els valors numèrics associats a cada punt de dades i respectar l'ordre cronològic de l'eix horitzontal, sense dependre d'atributs visuals com el color per diferenciar les sèries.

En el cas dels gràfics de sectors, textBOX proposa una descomposició del gràfic en una llista de variables amb els seus valors associats, ordenades de major a menor magnitud. Aquest ordre descendent es considera un recurs clau per estructurar la informació i millorar la comprensió del conjunt. Quan els valors exactes no estan disponibles, s'admet l'estimació, sempre que aquesta circumstància es declari explícitament en la descripció. Així mateix, es recomana emprar construccions sintàctiques que afavoreixin pauses naturals en la lectura mitjançant lectors de pantalla, com l'ús de comes o del terme "igual a" per vincular variables i valors.

Per als diagrames de dispersió, textBOX introdueix una diferència substancial respecte d'altres tipus de gràfics. No es considera necessari descriure exhaustivament cada punt de dades quan el volum d'informació és elevat. En lloc d'això, l'alternativa textual s'ha de centrar a comunicar els patrons rellevants del conjunt de dades, com ara rangs, valors mitjans estimats, tendències dominants i possibles valors atípics. La descripció s'organitza narrativament en funció d'allò que les dades "indiquen" en relació amb l'objectiu del gràfic, prioritzant la interpretació global davant del detall exhaustiu.

Finalment, textBOX subratlla la importància de mantenir una coherència interna en la descripció, retornant a l'element focal una vegada completat el recorregut per les dades. Aquest tancament reforça la comprensió del conjunt i consolida l'estructura narrativa de l'alternativa textual. De manera consistent en tots els tipus de gràfics analitzats, es desaconsella la referència a atributs purament visuals, com el color, i es prioritza una redacció orientada a l'experiència auditiva de l'usuari, amb una atenció especial a la claredat sintàctica i a la seqüenciació lògica de la informació.

3.9. Mecanismes tècnics per implementar descripcions accessibles al web i fulls de càlcul

Pel que fa als mecanismes tècnics, l'W3C documenta diversos enfocaments per proporcionar descripcions llargues al web, incloent-hi enllaços textuais adjacents a la imatge, indicacions de la seva localització en l'atribut *alt*, l'associació estructural mitjançant els elements *<figure>* i *<figcaption>*, l'ús de l'atribut *longdesc* i referències programàtiques a la descripció referenciada mitjançant *aria-describedby*. El mateix W3C adverteix que algunes solucions –en particular *aria-describedby*– no preserven l'estructura interna de la descripció, ja que aquesta és interpretada com un únic bloc de text continu pels lectors de pantalla, fet que limita l'accés a encapçalaments, taules i mecanismes de navegació. Aquesta limitació reforça la importància de mantenir descripcions llargues estructurades i navegables quan la visualització ho requereix (Egger i Abou-Zahra, 2022).

En l'àmbit dels fulls de càlcul, el text alternatiu s'afegeix seleccionant el gràfic, obrint el menú contextual amb el botó dret del ratolí o, en el cas, d'Excel, amb la combinació Majúscules + F10 i escollint l'opció "Edita el text alternatiu". Quan cal complementar-lo amb una descripció llarga, una proposta és incorporar-la en cel·les del mateix full, preferiblement a continuació del gràfic, o en un full específic destinat a les descripcions, atès que el programari existent no disposa de camps natis per afegir-les. Cal identificar clarament el gràfic al qual correspon cada descripció mitjançant el títol o un identificador, i indicar-ne l'existència i la localització en el text alternatiu breu. Per facilitar-hi l'accés, es pot seleccionar el gràfic i utilitzar l'opció "Inserció > Enllaç" per establir com a destinació el full i la cel·la que contenen la descripció. Si aquesta se situa en un full diferent, cal incorporar-hi també un enllaç de retorn al gràfic. D'aquesta manera, es manté la distinció entre una primera aproximació breu i una explicació detallada, amb mecanismes de navegació entre totes dues.

Teniu a la vostra disposició una guia específica d'Excel a: Alcaraz *et al.* (2021).

Referències

Alam, Md Zubair Ibne, Islam, Shehnaz, & Hoque, Enamul (2023). SeeChart: Enabling accessible visualizations through Interactive natural language interface for people with visual impairments. In *IUI '23: Proceedings of the 28th International Conference on Intelligent User Interfaces* (pp. 46-64). <https://doi.org/10.1145/3581641.3584099>

Alcaraz-Martínez, Rubén, Ribera, Mireia, & Pascual-Almenara, Afra (2021). *Guia per a la creació de gràfics estadístics accessibles amb el Microsoft Excel 365*. Adaptabit, Universitat de Barcelona. <https://hdl.handle.net/2445/180736>

Alcaraz-Martínez, Rubén, Ribera, Mireia, Adeva-Fillol, Adrià, & Pascual-Almenara, Afra (2025a). Enhancing statistical chart accessibility for people with low vision: insights from a user test. *Universal Access in the Information Society*, 24, 2981-3019. <https://doi.org/10.1007/s10209-024-01111-4>

Alcaraz Martínez, Rubén, Ribera, Mireia, Satorras, Rosa M., Salse Rovira, Marina, Massaguer, Lluç, Splendiani, Bruno, & Zabala, Clara (2025b). Recursos educativos abiertos, pero no accesibles: Diagnóstico del nivel de accesibilidad de los PDF en el repositorio digital de la Universidad de Barcelona. In *VII Congreso Internacional Universidad y Discapacidad (CIUD). Tendencias y desafíos para una universidad inclusiva* (en impremta).

Balaji, Abhijit, Ramanathan, Thuvaarakkesh, & Sonathi, Venkateshwarlu (2018). *Chart-Text: A fully automated chart image descriptor*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1812.10636>

Bellscheidt, Selah, Metcalf, Hazel, Pham, Di, & Elglaly, Yasmine (2023). Building the habit of authoring alt text: Design for making a change. In *ASSETS '23: Proceedings of the 25th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility* (pp. 1-5). <https://doi.org/10.1145/3597638.3614495>

Cardia, Marco., Buzzi, Marina, Galesi, Giulio, & Leporini, Barbara (2025). A descriptive review of image datasets for accessible alternative descriptions in STEM domains. In *CHIItaly '25: Proceedings of the 16th Biannual Conference of the Italian SIGCHI Chapter* (pp. 1-7). <https://doi.org/10.1145/3750069.3750122>

Chintalapati, Sanjana, Bragg, Jonathan, & Wang, Lucy Lu (2022). A dataset of alt texts from HCI publications: analyses and uses towards producing more descriptive alt texts of data visualizations in scientific papers. In *ASSETS '22: Proceedings of the 24th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility* (pp. 1-12). <https://doi.org/10.1145/3517428.3544796>

Diagram Center (2015). *Image description guidelines*.

<http://diagramcenter.org/table-of-contents-2.html>

Edwards, Emory J., Gilbert, Michael, Blank, Emily, & Branham, Stacy M. (2023).

How the alt text gets made: What roles and processes of alt text creation can teach us about inclusive imagery. *ACM Transactions on Accessible Computing* 16, 1-28.

<https://doi.org/10.1145/3587469>

Eggert, Eric, & Abou-Zahra, Shadi (2022). *Images tutorial*. W3C, Web Accessibility Initiative, WAI. <https://www.w3.org/WAI/tutorials/images>

Elavsky, Frank, Nadolskis, Lucas, & Moritz, Dominik (2023). Data Navigator: An accessibility-centered data navigation toolkit. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 30(1), 803-813.

<https://doi.org/10.1109/TVCG.2023.3327393>

Elzer, Stephanie, Schwartz, Edward, Carberry, Sandra, Chester, Daniel, Demir, Seniz, & Wu, Peng (2007). A browser extension for providing visually impaired users access to the content of bar charts on the web. In *Proceedings of the Third International Conference on Web Information Systems and Technologie*, 1.

<https://doi.org/10.5220/0001274600590066>

Fan, Danyang, Siu, Alexa Fay, Rao, Hrishikesh, *et al.* (2022). The accessibility of data visualizations on the web for screen reader users: Practices and experiences during COVID-19. *ACM Transactions on Accessible Computing* 16, 1-29.

<https://doi.org/10.1145/3557899>

Ferres, Leo, Lindgaard, Gitte, & Sumegi, Livia (2010). Evaluating a tool for improving accessibility to charts and graphs. In *ASSETS '10: Proceedings of the 12th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility* (pp. 83-90). <https://doi.org/10.1145/1878803.1878820>

Ferres, Leo, Lindgaard, Gitte, Sumegi, Livia, & Tsuji, Bruce (2013). Evaluating a tool for improving accessibility to charts and graphs. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, 20(5). <https://doi.org/10.1145/2533682.2533683>

Gorniak, Joshua, Kim, Yoon, Wei, Donglai, & Kim, Nam Wook (2023). VizAbility: Enhancing chart accessibility with LLM-based conversational interaction. In *UIST '24: Proceedings of the 37th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology* (pp. 1-19). <https://doi.org/10.1145/3654777.3676414>

Gubala, Carolyn, & Melonçon, Lisa (2022). Data visualizations: An integrative literature review of empirical studies across disciplines. *2022 IEEE International Professional Communication Conference (ProComm)* (pp. 112-119).

<https://doi.org/10.1109/ProComm53155.2022.00024>

Jones, Shuli, Pineros, Isabella Pedraza, Hajas, Daniel, Zong, Jonathan, & Satyanarayan, Arvind (2023). "Customization is Key": Reconfigurable textual tokens for accessible data visualizations. In *CHI '24: Proceedings of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-14).

<https://doi.org/10.1145/3613904.3641970>

Joyner, Shakila Cherise S, Riegelhuth, Amalia, Garrity, Kathleen, Kim, Yea-Seul, & Kim, Nam Wook (2022). Visualization accessibility in the wild: challenges faced by visualization designers. In *CHI '22: Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-19).

<https://doi.org/10.1145/3491102.3517630>

Jung, Crescentia, Mehta, Shubham, Kulkarni, Atharva, Zhao, Yuhang, & Kim, Yea-Seul (2022). Communicating visualizations without visuals: investigation of visualization alternative text for people with visual impairments. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 28(1), 1095-1105.

<https://doi.org/10.1109/TVCG.2021.3114846>

Kanthara, Shankar, Leong, Rixie T.K.L., Lin, Xiang, Masry, Ahmed, Thakkar, Megh, Hoque, Enamul, & Joty, Shafiq (2022). *Chart-to-text: a large-scale benchmark for chart summarization*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2203.06486>

Kim, Edward, Onweller, Connor, & McCoy, Kathleen F. (2021). Information graphic summarization using a collection of multimodal deep neural networks. In *2020 25th International Conference on Pattern Recognition (ICPR)* (pp. 10188-10195).

<https://doi.org/10.1109/ICPR48806.2021.9412146>

Lecardonnell, THéo, Hurter, Christophe, & Hurtut, Thomas (2025). GenQA: A method for generating and validating question/answer pairs from journalistic data material. In *2025 IEEE 18th Pacific Visualization Conference (PacificVis)* (pp. 296-306). <https://doi.org/10.1109/PacificVis64226.2025.00036>

Li, Chu, Pang, Rock Yure, Sharif, Ather, Chheda-Kothary, Arnavi, Heer, Jeffrey & Froehlich, Jon E. (2024). AltGeoViz: Facilitating accessible geovisualization. In *2024 IEEE Visualization and Visual Analytics (VIS)* (pp. 61-65).

<https://doi.org/10.1109/VIS55277.2024.00020>

Lundgard, Alan, & Satyanarayan, Arvind (2021). Accessible visualization via natural language descriptions: A four-level model of semantic content. In *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 28(1), 1073-1083.

<https://doi.org/10.1109/TVCG.2021.3114770>

Mack, Kelly, Cutrell, Edward, Lee, Bongshin, & Morris, Meredith Ringel (2021). Designing tools for high-quality alt text authoring. In *ASSETS '21: Proceedings of the 23rd International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility* (pp. 1-14). <https://doi.org/10.1145/3441852.3471207>

Marriott, Kim, Lee, Bongshin, Butler, Matthew, *et al.* (2021). Inclusive data visualization for people with disabilities. *Interactions*, 28(3), 47-51.

<https://doi.org/10.1145/3457875>

Moraes, Priscilla, Sina, Gabriel, McCoy, Kathleen, & Carberry, Sandra (2014). Evaluating the accessibility of line graphs through textual summaries for visually impaired users. In *Proceedings of the 16th international ACM SIGACCESS conference on Computers & accessibility*. <https://doi.org/10.1145/2661334.2661368>

Morris, Meredith Ringer, Johnson, Jazette, Bennett, Cynthia L., Cutrell, Edward (2018). Rich representations of visual content for screen reader users. In *CHI '18: Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-11). <https://doi.org/10.1145/3173574.3173633>

Obeid, Jason, & Hoque, Enamul (2020). Chart-to-Text: Generating natural language descriptions for charts by adapting the transformer model. In *Proceedings of the 13th International Conference on Natural Language Generation* (pp. 138-147). <https://doi.org/10.18653/v1/2020.inlg-1.20>

Oliveira, Cybthia Leticia Teles de Oliveira, Silva, Alan Trindade de Almeida, Morais, Jefferson M. de, Mota, Marcelle Pereira (2020). ChartVision: accessible vertical bar charts. In *IHC '20: Proceedings of the 19th Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-10). <https://doi.org/10.1145/3424953.3426644>

Oliveira, Cybthia Leticia Teles de Oliveira, Silva, Alan Trindade de Almeida, Morais, Jefferson M. de, Mota, Marcelle Pereira (2023). Accessible bar charts through textual description templates. *Journal of the Brazilian Computer Society*, 29(1), 1-18. <https://doi.org/10.5753/jbcs.2023.2301>

Risi, Milena (2025). Accessible images: AI-generated alt text in educational publishing. *Logos*, 36(1), 50-69. <https://doi.org/10.1163/18784712-20240039>

Seo, JooYoung, Xia, Yililn, Lee, Bongshin. McCurry, Sean & Yam, Yu Jun (2024). MAIDR: Making statistical visualizations accessible with multimodal data representation. In *CHI '24: Proceedings of the 2024 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-22). <https://doi.org/10.1145/3613904.3642730>

Sharif, Ather, Chintalapati, Sanjana S., Wobbrock, Jacob O., & Reinecke, Katharina (2021). Understanding screen-reader users' experiences with online data visualizations. In *ASSETS '21: Proceedings of the 23rd International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility* (pp. 1-16). <https://doi.org/10.1145/3441852.3471202>

Sharif, Ather, Zhang, Andrew M., Shih, Anna, Wobbrock, Jacob O. , & Reinecke, Katharina (2022a). Understanding and improving information extraction from online geospatial data visualizations for screen-reader users. In *ASSETS '22: Proceedings of the 24th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility* (pp. 1-15). <https://doi.org/10.1145/3517428.3550363>

Sharif, Ather, Wang, Olivia H., Muongchan, Alida T., Reinecke, Katharina, & Wobbrock, Jacob O. (2022b). VoxLens: Making online data visualizations accessible with an interactive JavaScript plug-in. In *CHI '22: Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1-19). <https://doi.org/10.1145/3491102.3517431>

Sharif, Ather, Zhang, Andrew M., Reinecke, Katharina, & Wobbrock, Jacob O. (2023). Understanding and improving drilled-down information extraction from online data visualizations for screen-reader users. In *W4A '23: Proceedings of the 20th International Web for All Conference* (pp. 18-31). <https://doi.org/10.1145/3587281.3587284>

Smits, Thomas C., L'Yi, Sehi, Mar, Andrew P. & Gehlenborg, Nils (2024). AltGosling: Automatic generation of text descriptions for accessible genomics data visualization. *Bioinformatics*, 40(12), btae670. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btae670>

Srinivasan, Arjun, Harshbarger, Tim, Hilliker, Darrell, & Mankoff, Jennifer (2023). Azimuth: Designing accessible dashboards for screen reader users. In *ASSETS '23: Proceedings of the 25th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility* (pp. 1-16). <https://doi.org/10.1145/3597638.3608405>

Stelea, G. A., L. Sangeorzan, and N. Enache-David (2025). Accessible IoT dashboard design with AI-enhanced descriptions for visually impaired users. *Future Internet*, 17(11). <https://doi.org/10.3390/fi17070274>

Strantz, Adam (2021). "Beyond "Alt-Text": Creating accessible data visualizations with code. In *SIGDOC '21: Proceedings of the 39th ACM International Conference on Design of Communication* (pp. 331-337). <https://doi.org/10.1145/3472714.3473661>

Tang, Benny J., Boggust, Angie, & Satyanarayan, Arvind (2023). *VisText: A benchmark for semantically rich chart captioning*.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2307.05356>

textBox (2025). *TextBOX the alt text specialists*. <https://www.textboxdigital.com>

W3C (2015). *HTML5 Image Description Extension (longdesc)*.
<https://www.w3.org/TR/html-longdesc>

Wang, Yanan, & Kim, Yea-Seul (2023). Making data-driven articles more accessible: An active preference learning approach to data fact personalization. In *DIS '23: Proceedings of the 2023 ACM Designing Interactive Systems Conference* (pp. 1353-1366). <https://doi.org/10.1145/3563657.3595986>

Williams, Candace, Greef, Lilian de., Harris, Ed, Findlater, Leah, Pavel, Amy, & Bennett, Cynthia (2022). Toward supporting quality alt text in computing publications. In *W4A '22: Proceedings of the 19th International Web for All Conference* (pp. 1-12). <https://doi.org/10.1145/3493612.3520449>

Yan, Chuqiao, Hutter, Hans-Peter, Schmitt-Koopmann, Felix, & Darvishy, Alireza (2025). Chart accessibility: a review of current alt text generation. *IEEE Access*, 13, 94040-94056. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3571626>

Zabala Aguilar, Clara; Ribera, Mireia; Alcaraz-Martínez, Rubén (2024). Comparison of Highcharts and BrailleR charts' accessibility with blind users. In *11th International Conference on Software Development and Technologies for Enhancing Accessibility and Fighting Info-exclusion – DSAI'24* (pp. 91-96).
<https://doi.org/10.1145/3696593.3696642>

Zong, Jonathan, Lee, Crystal, Lundgard, Alan, Jang, JiWoong, Hajas, Daniel, & Satyanarayan, Arvind (2022). Rich screen reader experiences for accessible data visualization. *Computer Graphics Forum*, 41(3), 15-37.
<https://doi.org/10.1111/cgf.14519>

Zong, Jonathan, Pedraza Pineros, Isabella, Chen, Mengzhu Katke, Hajas, Daniel, & Satyanarayan, Arvind (2025). *Semantic scaffolding: Augmenting textual structures with domain-specific groupings for accessible data exploration*.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2506.15883>