

33

Fecha de presentación: enero, 2023

Fecha de aceptación: marzo, 2023

Fecha de publicación: mayo, 2023

USABILIDAD

E INTERACCIÓN CARTOGRÁFICA EN MAPAS DE COROPLETAS

USABILITY, CARTOGRAPHIC INTERACTION AND CHOROPLETH MAPS

Lilliam Sofía Gómez Solórzano¹

Email: liliam.gomez@unah.edu.hn

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6575-0329>

Universidad Nacional Autónoma de Honduras, UNAH. Honduras.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Gómez Solórzano, L. S. (2023). Usabilidad e interacción cartográfica en mapas de coropletas. *Universidad y Sociedad*, 15(3), 344-356.

RESUMEN

Los mapas de coropletas han sido un desafío para la ciencia cartográfica durante más de medio siglo, sus principales dificultades residen en los niveles de color y las ilusiones ópticas. Muchos problemas cartográficos han ido disminuyendo a medida que avanza la tecnología y hay nuevas formas de representación, como la interacción cartográfica. En este estudio presentamos dos mapas de coropletas, uno interactivo y otro estático, evaluados por las métricas de usabilidad: efectividad, eficiencia y satisfacción. Ambos representan la densidad poblacional de los municipios de Honduras en 8 categorías; se aplicó un cuestionario de seis tareas a dos grupos de 33 participantes. Por lo que la metodología es basada en tareas. Asimismo, se utilizó una técnica de “eyetracking” o de seguimiento ocular para analizar el esfuerzo visual. El mapa interactivo obtuvo los mayores porcentajes en las tres métricas de usabilidad con diferencias significativas, especialmente en relación al desempeño en cuanto a efectividad y eficiencia. La satisfacción en ambos no presenta diferencias significativas. Se concluye que la interacción cartográfica en la leyenda de mapas de coropletas puede dismantelar la norma cartográfica típica de 7 clases de niveles de color.

Palabras clave: Coropletas, interacción cartográfica, usabilidad, leyenda, niveles de color, número de clases

ABSTRACT

Choropleth maps have been a challenge to cartographic science for more than half a century, their main difficulties being color levels and optical illusions. Many cartographic problems have been diminishing as technology advances and there are new forms of representation, such as cartographic interaction. In this study we present two choropleth maps, one interactive and one static, evaluated by usability metrics: effectiveness, efficiency and satisfaction. Both represent the population density of the municipalities of Honduras in 8 categories; a six-task questionnaire was applied to two groups of 33 participants. An eyetracking technique was also used to analyze visual effort. The interactive map obtained the highest percentages in the three usability metrics with significant differences, especially in relation to performance in terms of effectiveness and efficiency. Satisfaction in both does not present significant differences. It is concluded that the cartographic interaction in the choropleth map legend can dismantle the typical cartographic norm of 7 classes of color levels.

Keywords: Choropleth, cartographic interaction, usability, legend, colour levels, number of classes

INTRODUCCIÓN

Los mapas de coropletas fueron inventados en Francia en 1826 por el barón Charles Dupin, en el momento en que comenzaron a aparecer la cartografía política y las relaciones entre estadística y población. Su origen etimológico proviene de “choros” = área, espacio y “plethos” = multitud, valor (Mandal, 2013). Se consideran una expresión cuantitativa de datos espaciales con límites administrativos, los cuales describen datos estadísticos que varían según densidad o intensidad en términos de clases ordinales, utilizando variables visuales como el valor y la saturación (Slocum, 2009). El valor es la progresión continua que el ojo percibe en una serie de grises desde el negro hasta el blanco y la saturación es la pureza del color (Bertin, 2011). Es una de las técnicas de mapeo más comunes. Los datos que más están representados por esta técnica: densidad de población, tasas de mortalidad y natalidad, esperanza de vida, fertilidad, frecuencia de enfermedades, índice de salud e índice de vivienda, entre otros.

Este tipo de mapas han sido objeto de numerosos estudios en cartografía, en especial en los últimos 60 años. Inicialmente los estudios fueron sobre métodos de clasificación y sobre la complejidad de la región visualizada; sobre la efectividad y número de clases; uso y percepción del color (Brewer, 1997); correspondencia entre simbología y leyenda. Posteriormente, durante las últimas dos décadas, se han realizado estudios sobre mapas de coropletas animados (Harrower, 2007), algunos cuestionando si la regla de 5 a 7 clases de datos se puede aplicar en mapas animados.

Existe una gran cantidad de estudios enfocados en el número de clases, mostrando que este tipo de mapas tienen una gran complejidad en su diseño e interpretación. Donde muchos autores expresan que la respuesta más aceptada hasta ese momento era siete más o menos dos; variando según el color que se utiliza, algunos establecen que se pueden utilizar tonos de hasta 10 (Gilmartin & Shelton, 1990).

Otros estudios se refieren a los métodos de visualización, por ejemplo, el uso de sombras suaves e iluminadas para mejorar la representación (Stewart & Kenelly, 2010). También, encontramos estudios de análisis entre la distancia de niveles de un mismo color (Brychtova & Dolezalová, 2015), otros relacionados con la distancia de color y el tamaño de fuente (Brychtova & Çöltekin, 2016), así como el potencial de los mapas 3D de coropletas

(Besançon et al., 2020). También existen estudios en que se examina el impacto potencial de la magnitud de cambio en la detección de unidades de enumeración fijas en mapas de coropletas dinámicos utilizando “eyetracking”, en donde los participantes detectaban cambios de valor en las unidades, aunque no hubieran (Cybulski & Krassanakis, 2020). Recientemente encontramos estudios donde proponen un modelo con un algoritmo para clasificar los datos en un mapa de coropletas incrementando su usabilidad y solidez (Mu & Tong, 2022), otros donde se examina la efectividad en el reconocimiento de patrones espaciales y tendencias temporales en mapas de coropletas animados utilizando “eyetracking”, en el que se concluyó depende del comportamiento visual del participante (Cybulski, 2022). Existen estudios sobre la comparación de la usabilidad de productos cartográficos impresos y productos cartográficos digitales interactivas (Gómez Solórzano et al., 2017).

No obstante, hay poca investigación sobre las diferencias entre mapas de coropletas interactivos y no interactivos, especialmente con una leyenda interactiva.

Algunos autores afirman que tomar información de un mapa a través de la interacción directa puede tener ventajas sobre las leyendas de mapas tradicionales: mayor precisión, adquisición más rápida y reducción de distracciones (Harrower, 2007). Se cree que en un mapa de coropletas esta ventaja puede ser importante a la hora de incrementar el número de clases. En particular, puede eliminar problemas conceptuales como el contraste simultáneo —un problema de Gestalt altamente complejo debido a la dificultad de discernir las sombras— que ocurre cuando un polígono aparentemente puede cambiar de claridad en función de los colores que lo rodean (McGranaghan, 1989); y la ilusión de Ebbinghaus, que se produce cuando un polígono pequeño en comparación con uno grande tiende a aparecer más saturado (Harrower, 2007). Estos, entre otros problemas, como el tamaño de la unidad administrativa o la lejanía de esta unidad con la leyenda, se convierten en dificultades que pueden aliviarse mediante la interacción cartográfica.

Este estudio analiza la usabilidad (Nielsen, 1993), (métodos utilizados para analizar y mejorar el funcionamiento de los productos) de dos mapas de coropletas. Los mapas se diferencian por el nivel de interacción, especialmente en la leyenda, y para cada uno se evaluó su efectividad, eficiencia y satisfacción. En lo que se buscó poder romper la ‘regla’ de siete clases de mapas estáticos.

El área representada en los mapas corresponde al territorio nacional de Honduras, el cual está compuesto por 298 municipios (Figura 1). Los datos de base cartográfica fueron proporcionados por SINIT (Sistema Nacional de Información Territorial) y los datos estadísticos del INE (Instituto Nacional de Estadística). El sistema de referencia (proyección EPSG 32616 - WGS 84 / UTM zona 16N). Honduras es un país ubicado en Centroamérica y tiene un área de 112,492 km².

Densidad Poblacional de Honduras, 2020

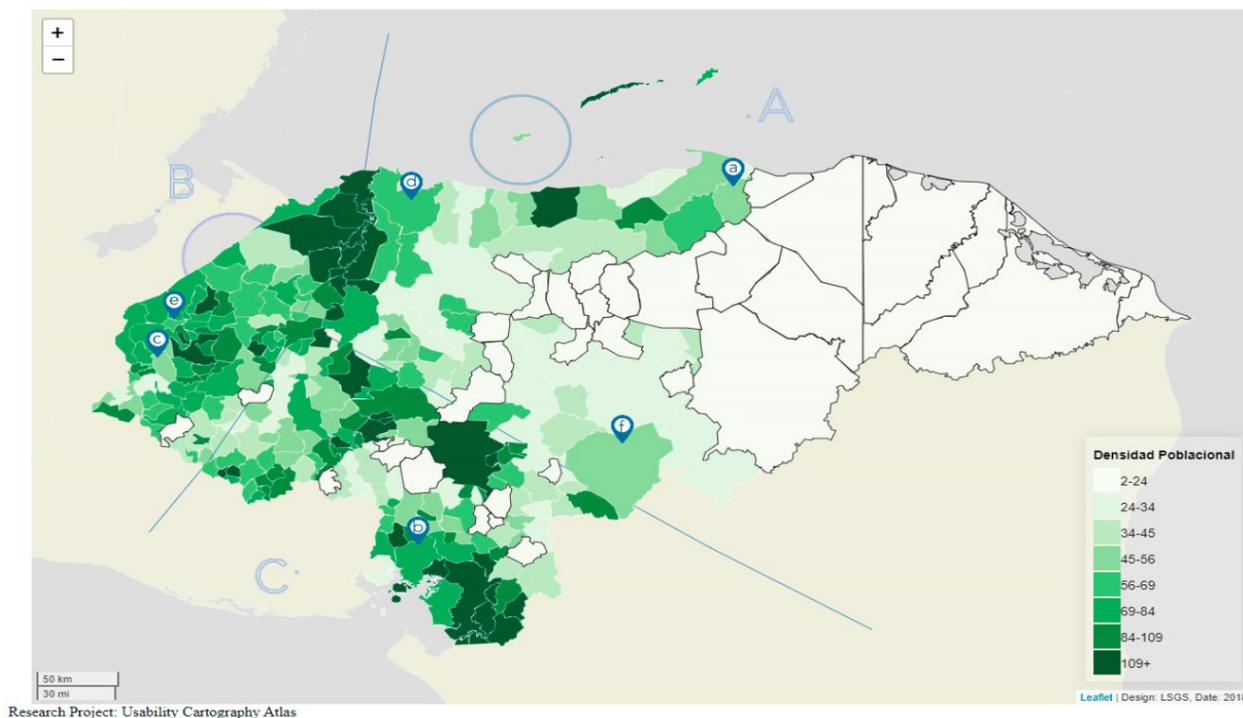


Figura 1. Mapa de coropletas de Honduras utilizado en el estudio. Las letras A, B y C mayúsculas indican regiones para realizar una de las tareas. Las letras a, b, c, d, e y f en los iconos azules indican municipios a ser visualizados en algunas de las tareas.

Fuente. Elaboración propia.

MÉTODOS Y MATERIALES

Este estudio aplica métodos de usabilidad y cuestionarios que involucran el desarrollo de tareas. Además, se utilizó una técnica de “eyetracking” o de rastreo visual para poder constatar el esfuerzo o facilidad en resolver las tareas por los participantes. “Eyetracking” ha demostrado ser una técnica objetiva y valiosa para los estudios perceptuales y cognitivos en cartografía (Krassanakis & Cybulski, 2021). Se crearon dos mapas, uno interactivo y otro estático (Figura 1). Ambos mapas contienen los mismos datos. Los participantes se dividieron en dos grupos: Grupo A (mapa interactivo), Grupo B (mapa estático). La prueba se llevó a cabo de forma individual en un laboratorio de informática dentro de las instalaciones de la universidad.

Participantes

80 participantes terminaron el estudio, pero solo 33 fueron seleccionados de cada grupo (66) porque se filtró la calidad de calibración del aparato “eyetracking”, que se hace adaptando la visión del participante con la luz láser del dispositivo que genera un rastreo de lo que el participante visualiza del mapa en la pantalla, para ello hay que calibrar el ángulo de la pupila con el láser y la zona visualizada. La proporción de hombres y mujeres fue aproximadamente la misma (f = 48%, m = 52%), el rango de participantes fue principalmente entre 18 y 24 años (82%) y 25 y 34 años (14%), el resto eran mayores. El 94% eran estudiantes universitarios de pregrado, el resto eran graduados. 61% del área de

ingeniería, 26% arquitectura y 13% ciencias sociales y geografía. El total de alumnos en estas carreras fue de N=1915, siendo la muestra n=66. Se presentaron dos casos de daltonismo, uno en el mapa estático y otro en el interactivo.

Materiales

En este estudio se utilizaron dos mapas, uno por grupo. El mapa interactivo (Grupo A); el mapa estático (Grupo B) (Figura 1). Ambos mapas presentaban la misma área e información geográfica (Figura 1), divisiones territoriales por municipios y representación de la densidad de población por niveles de color verde según el esquema ColorBrewer.org (Brewer & Harrower, 2003), ya que es uno de los colores más fácilmente utilizados en este tipo de mapas.

El mapa del Grupo A se presentó con una leyenda interactiva, al posicionar el “mouse” sobre las categorías de rango de densidad poblacional, se resaltaban los municipios pertenecientes a esa categoría. El mapa estático se presentó de la misma manera que el mapa anterior, pero sin la leyenda interactiva. Ambos mapas tenían los mismos métodos de representación cartográfica. La información temática representada corresponde a la densidad poblacional de Honduras a través de 8 categorías, separadas en cuantiles. Usamos las capas de Centroamérica y las divisiones municipales de Honduras. El lenguaje de programación utilizado fue java con librería “leaflet” y datos “shapefile” transformados a “geojson”, para poder representarlos en el formato correspondiente interactivo. El experimento se realizó individualmente con cada uno de los participantes, en un portátil, tamaño de pantalla de 17,3”, resolución de 1920 x 1080 y con el dispositivo “eyetracking” Gazepoint, Hardware: GP3 HD Eye Tracker 150Hz, de 0,5 a 1 grado de ángulo de precisión, 5 a 9 puntos de calibración. Software: Gazepoint Analysis Professional Edition, v 5.3.0.

Métodos

Se elaboró un cuestionario en línea para realizar cada una de las tareas. El cuestionario constaba de tres partes: (1) recopilación de datos del perfil de los participantes; (2) seis tareas y una evaluación personal; (3) una evaluación de la satisfacción personal después de completar todas las tareas, en la que también expresaron su experiencia de usuario. Se calcularon las dimensiones de Usabilidad: eficiencia, efectividad y satisfacción, además de percepciones. Tiempo, error y esfuerzo fueron los elementos para evaluar el desempeño. La satisfacción muestra lo que piensa el usuario sobre su interacción con el producto.

La tarea 1 consistió en identificar la diferencia o igualdad de la categoría de densidad de población entre dos municipios de igual clase. La Tarea 2 consistió en la misma que la anterior pero las clases de municipios eran diferentes. La tarea 3 requirió clasificar un grupo de tres municipios de mayor a menor densidad. La tarea 4 requirió categorizar un municipio según la leyenda. La Tarea 5 requería lo mismo que la anterior, pero consistió en un municipio más pequeño y no rodeado por otros municipios. Y la Tarea 6 requirió calcular visualmente el área de una categoría correspondiente a una zona (Tabla 1).

Tabla 1 Tareas de la prueba de Usabilidad

No.	Tareas	Objetivos
1	Se le presentan un par de municipios de Honduras, rotulados con marcadores a y c en el mapa, escoja el que tiene mayor cantidad de densidad poblacional, si ambos pertenecen a la misma categoría escoja ambos.	Corroborar el efecto de contraste simultáneo que ocurre en mapas de coropletas estáticos en el que un polígono parece cambiar de acuerdo a los colores que le rodean.
2	Se le presentan un par de los municipios de Honduras, rotulados con marcadores b y d en el mapa, escoja el que tiene mayor cantidad de densidad poblacional, si ambos pertenecen a la misma categoría escoja ambos.	Corroborar la diferenciación de municipios con categorías distintas que pueden confundirse y parecer similares.
3	Indique cómo clasificaría los municipios b, e, f de mayor a menor densidad poblacional.	Identificar cuál de los dos mapas ofrece una mejor categorización de tres niveles de color.

4	En la parte izquierda del mapa (noroeste) aparece el municipio de Azacualpa en el centro del semicírculo azul, identifique a qué categoría de densidad poblacional pertenece.	Identificación de un polígono con su correspondiente leyenda
5	En la parte de arriba del mapa (norte) aparece el municipio de Utila en el centro de un círculo azul, identifique a qué categoría de densidad poblacional pertenece.	Identificación de problemas de lectura con claridad (contraste simultáneo) y tamaño (ilusión de Ebbinghaus).
6	Suponga que en Honduras se está considerando implementar un programa de desarrollo humano en los municipios con una densidad poblacional entre 56 a 69 hab/km ² . ¿Cuál de las regiones A, B o C que aparecen en el mapa tendría el mayor número de habitantes beneficiados? (mayor área de esa categoría de las tres)	Identificación y cálculo visual de áreas por categoría de color en una misma zona

Fuente: Elaboración propia

A partir del desempeño de los participantes, calculamos las métricas de eficiencia y efectividad. Definimos efectividad (precisión) como la capacidad de completar una tarea con éxito y eficiencia (velocidad) como la cantidad de esfuerzo requerido para completar una tarea. Las métricas de usabilidad se calcularon de la siguiente manera:

- Efectividad: La relación entre la finalización de la tarea y el número proporcional de errores. Tarea completada con éxito / número de errores.
- Eficiencia: la relación entre la finalización de la tarea y el tiempo de la tarea en segundos. Tarea completada con éxito / tiempo de la tarea.
- Satisfacción: porcentaje de satisfacción, tareas.

Además de esto, se obtuvo el número de fijaciones por segundo (nf / s), y la velocidad de la ruta de exploración (px / s), a través del dispositivo de "eyetracking" que nos da una idea del esfuerzo utilizado para llegar a una respuesta, además de la confianza y seguridad en el uso del producto y se correlaciona con la eficiencia obtenida.

Para encontrar diferencias estadísticas en ambos mapas, utilizamos, una "prueba t de dos muestras" ("two sample t-test") para el tiempo y una "prueba de chi-cuadrado" ("chi-squared test") para el éxito. También se estimaron los intervalos de confianza.

RESULTADOS

Los resultados que se muestran a continuación están organizados por grupo. Primero se presentan los resultados de cada tarea, y finalmente se muestran los resultados de las métricas de usabilidad para cada grupo (mapa). En la sección final, presentamos una comparación entre tareas y métricas de usabilidad para ambos.

Grupo A - mapa interactivo

El desempeño evaluado en tiempo y éxito se muestra en la Tabla 2. La tarea 1 llevó más tiempo porque los participantes tuvieron que acostumbrarse a la interacción. En la tarea 2 fue más fácil acostumbrarse a la herramienta. En la tarea 3 parece haber cierta dificultad para identificar esa cantidad de polígonos con la interacción. En la tarea 4 los principales problemas que enfrentaron los participantes fueron confundirse con la pregunta sobre el semicírculo. La tarea 5 se ejecutó con total éxito. En la tarea 6 los principales problemas que enfrentaron los participantes fueron la dificultad para elegir zona A, porque B tenía más polígonos de esa clase agrupados y niveles de color similares (Tabla 1 y 2).

Tabla 2 Grupo A (interactivo): desempeño en tiempo y éxito

Desempeño	Tarea 1	Tarea 2	Tarea 3	Tarea 4	Tarea 5	Tarea 6
Tiempo (s)	37.66	22.98	38.69	25.89	14.69	15.76
éxito	96.97%	90.91%	90.91%	93.94%	100%	66.67%

La efectividad y eficiencia se muestran en porcentajes (Tabla 3).

Tabla 3 Grupo A (interactivo): Efectividad y Eficiencia

Tarea	Éxito	Errores	Efectividad	Tiempo (s)	Óptimo (s)	Ratio	Eficiencia
1	96.97%	1	96.97%	37.66	28.39	1.33	73.10%
2	90.91%	1.58	57.36%	22.98	22.9	1	90.60%
3	90.91%	1.58	57.36%	38.69	21.12	1.83	49.60%
4	93.94%	1	93.94%	25.89	22.43	1.15	81.40%
5	100.00%	-	100.00%	14.69	11.38	1.29	77.50%
6	66.67%	3.46	19.27%	43.46	15.76	2.76	24.20%
TOTAL			70.82%				66.10%

Fuente: Elaboración propia

La satisfacción se midió utilizando una escala Likert de muy de acuerdo con muy en desacuerdo y representada por porcentaje. Los pesos que se utilizaron fueron muy de acuerdo (1,5), de acuerdo (1), en desacuerdo (-1), muy en desacuerdo (-1,5).

En el post-cuestionario se obtuvo una satisfacción del 85%. Correspondiente a la evaluación de todas las tareas del mapa, observamos una satisfacción total del 85,77%.

Grupo B - mapa estático

El desempeño evaluado en tiempo y éxito se muestra en la Tabla 4. En la tarea 1 el tiempo para completar la tarea fue corto, pero cuando se analizó, los participantes fueron confundidos, sin darse cuenta, por el efecto del contraste simultáneo. En la tarea 2 aparentemente aquí hubo un poco de dificultad ya que el nivel de color de los dos polígonos era bastante similar. En la tarea 3 no hubo necesidad de utilizar la leyenda y visualizar directamente en el área geográfica trajo ventajas. En la tarea 4 la dificultad fue llevar la vista a la leyenda, aparentemente la distancia del polígono a la leyenda hace "olvidar" el nivel del color. En la tarea 5 las dificultades que encontraron fueron la visualización de áreas pequeñas que tienden a verse más saturadas (ilusión de Ebbinghaus). La tarea 6 fue la tarea que más tiempo llevó, hubo dificultad sobre todo indicando que la zona era B, donde hay claridades más parecidas a la búsqueda y prácticamente ignoraron la zona A porque se veían zonas más claras en ella (Tabla 1 y 4).

Tabla 4 Grupo B (estático): desempeño en tiempo y éxito

Desempeño	Tarea 1	Tarea 2	Tarea 3	Tarea 4	Tarea 5	Tarea 6
Tiempo (s)	20.08	17.12	20.91	26.01	21.68	50.41
éxito	18.18%	72.73%	96.97%	72.73%	88%	18.18%

Fuente: Elaboración propia

La efectividad, la eficiencia y satisfacción se determinaron de la misma manera que en el Grupo A ya mencionado obteniendo los resultados en las siguientes tablas (Tabla 5).

Tabla 5 Grupo B (estático): Efectividad y Eficiencia

Tarea	Éxito	Errores	Efectividad	Tiempo (s)	Óptimo (s)	Ratio	Eficiencia
1	18.18%	4.7	3.87%	20.08	19.46	1.03	17.60%
2	72.73%	3	24.24%	17.12	12.84	1.33	54.50%
3	96.97%	1	96.97%	20.91	20.54	1.02	95.20%
4	72.73%	2.81	25.91%	26.01	25.19	1.03	70.40%
5	87.88%	2	43.94%	21.97	12.65	1.74	50.60%

6	18.18%	4.75	3.82%	50.41	22.48	2.24	8.10%
			33.12%				49.40%

Fuente: Elaboración propia

En el post-cuestionario se obtuvo una satisfacción del 78% que corresponde a la evaluación de todo el mapa y de toda la experiencia, finalmente obtenemos un total de 78,91% de satisfacción.

Comparación de Usabilidad

El tiempo medio empleado por ambos grupos para realizar las tareas difiere. El grupo A requirió más tiempo en las tareas iniciales que el grupo B, pero, a la inversa, en las tres últimas. Esto se puede interpretar en que al inicio fue difícil para los participantes acostumbrarse a la interacción del mapa, ya que visualizaron la respuesta y luego utilizaron la herramienta interactiva, algunos incluso se asombraron de que su visualización inicial no fuera correcta, por lo que comenzaron a confiar en la interacción en sus decisiones posteriores.

Se realizó una “prueba de chi-cuadrado” y una “prueba t de dos muestras”. Teniendo en cuenta que un valor menor a 0.05 ($\alpha \leq 0.05$) en la “prueba t de dos muestras” indica que no hay diferencia estadística, con respecto al tiempo. Para el tiempo en su mayoría favorece al grupo B a la inversa en las tres últimas. El éxito se refleja en la efectividad y eficiencia, que favorecen al Grupo A. Con estas diferencias de tiempo se puede ver que al principio los participantes son traicionados por las ilusiones o efectos visuales que produce el mapa de coropletas estático. También realizamos un esquema de intervalos de confianza.

En la Tarea 1, el Grupo B requirió menos tiempo para dar una respuesta, la diferencia entre ellos fue de 17,59 segundos. Esto contrasta con el alto número de respuestas incorrectas de este grupo en esta pregunta, quienes fueron traicionados por el efecto del contraste simultáneo (Figuras 3 y 4). Para diferenciar el éxito utilizamos una “prueba chi-cuadrado”, encontrando diferencias significativas a favor del Grupo A para el éxito ($\alpha = 0,00000000013077$). Existen diferencias a favor del Grupo B por tiempo ($\alpha = 0,0004$).

En la Tarea 2, el Grupo B requirió menos tiempo para dar una respuesta, la diferencia entre los dos fue de 5,86 segundos. Esto contrasta con el mayor número de respuestas incorrectas de este grupo en esta pregunta, quienes fueron traicionados por la similitud de los niveles de color (Figuras 3 y 4). No se encontraron diferencias con respecto al éxito ($\alpha = 0.057394761$). Hay diferencias a favor del Grupo B por tiempo ($\alpha = 0,0033$).

En la Tarea 3, el Grupo B requirió menos tiempo para dar una respuesta, la diferencia entre ellos fue de 17.78 segundos, en este caso el Grupo A generó mayor número de respuestas incorrectas, la única tarea en la obtención de resultados favorables para el Grupo B (Figura 3 y 4), siendo tres polígonos los que debían visualizarse y al intentar utilizar la herramienta interactiva de la leyenda, los participantes tendían a confundirse, mientras que los del no interactivo solo visualizaban la parte geográfica, que era más favorable, una de las mejoras que se podrían hacer en el interactivo es que la interacción podría ser recíproca, que cuando se posiciona en el polígono se resalte la categoría a la que pertenece en la leyenda, aun así, parece que esta tarea se desarrolla mejor solo mirando los elementos geográficos. Debemos ver qué sucede cuando hay efectos como el contraste simultáneo, que no se aplicó en este caso. Aun así, respecto a las respuestas correctas, aplicando una “prueba de chi-cuadrado”, no se encontró diferencia estadística ($\alpha = 0.305878846$). Existen diferencias a favor del Grupo B por tiempo ($\alpha = 0,000023$).

En la Tarea 4, el Grupo A requirió menos tiempo para dar una respuesta, la diferencia entre los dos fue de 0.11 segundos, siendo también favorable en las respuestas correctas (Figura 3 y 4). Existe diferencia significativa con respecto al éxito a favor del Grupo A ($\alpha = 0.021765139$). No existen diferencias por tiempo ($\alpha = 0,9659819$).

En la Tarea 5, el Grupo A requirió menos tiempo para dar una respuesta, la diferencia entre los dos fue de 7 segundos, siendo también favorable en las respuestas correctas (Figura 3 y 4). Encontramos diferencias significativas en las respuestas correctas ($\alpha = 0.040578079$), a favor del Grupo A. Hay diferencias a favor del Grupo A por tiempo ($\alpha = 0.00055$).

En la Tarea 6, como podemos ver, el Grupo A requirió menos tiempo para dar una respuesta, la diferencia entre los dos fue de 6,95 segundos, siendo también favorable en las respuestas correctas (Figura 3 y 4). Encontramos diferencias significativas en el número de aciertos ($\alpha = 0,000077$), a favor del Grupo A. No hay diferencias por tiempo ($\alpha = 0.354544572$).

Nuestros datos muestran evidencia de que en casi todas las tareas, el Grupo A presenta más respuestas correctas,

especialmente en la tarea 1 y la tarea 6. La tarea 3 se realizó mejor por el Grupo B, pero los resultados no muestran mucha diferencia estadística.

En cuanto al número de fijaciones, observamos que inicialmente en las tres primeras tareas, el Grupo A se presenta con el mayor número de fijaciones, y viceversa en las tres últimas. Esta observación corrobora que las personas se acostumbran a la tecnología a medida que avanzan en las tareas, lo contrario para el Grupo B que parece perder la confianza (Tabla 6).

Con respecto al área visualizada, para el Grupo B, observamos un área menor en casi todas las tareas; en particular para los últimos tres casos, donde observamos pocas diferencias estadísticas e incluso una a favor del Grupo A, específicamente la tarea 5, que corresponde a la ilusión de Ebbinghaus, en áreas pequeñas (Figura 2 y Tabla 6).

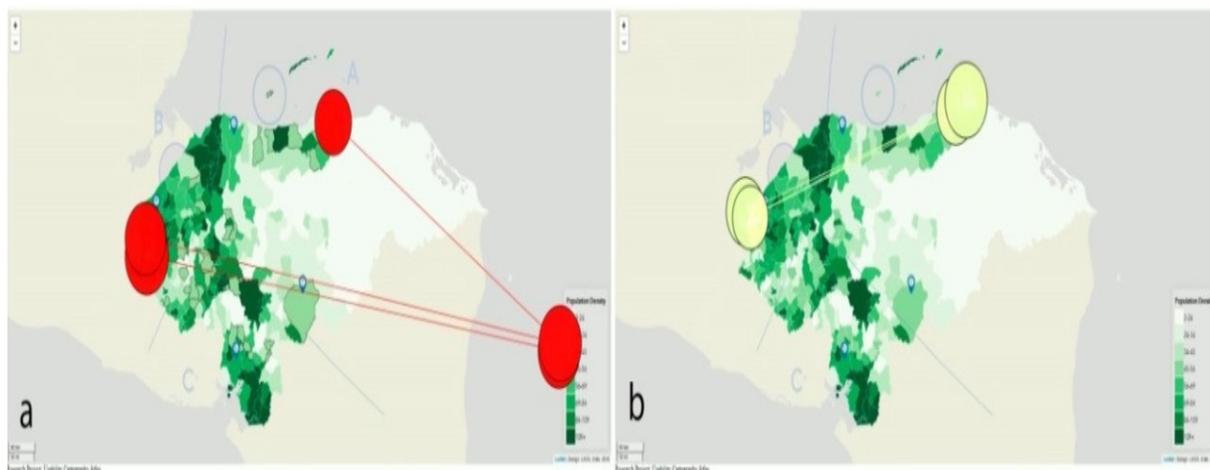


Figura 2 Fijaciones (círculos rojos y amarillos) y ruta de exploración en la Tarea 1. a) Grupo A, b) Grupo B. Tenga en cuenta que en el Grupo B pocos usaron la leyenda, solo compararon ambos, algo que sucedió en la mayoría de las tareas.

Usando el dispositivo de seguimiento ocular “eyetracking”, también pudimos obtener los compuestos: número de fijaciones por segundo (nf / s) y el promedio de la velocidad de la ruta de exploración (px / s).

Fijaciones por segundo (nf / s)

Los promedios del número de fijaciones por tiempo en cada tarea (nf / s) (Tabla 6), indican que el promedio es bastante similar para ambas condiciones, mayor para el Grupo B. Esto especifica una falta de eficiencia en la mayor parte del mapa estático del grupo B, que se corrobora con métricas de usabilidad. Las tareas que son menores son las tareas 2 y 6, las primeras porque les resultó “fácil” y las segundas porque se dieron por vencidas o adivinaron (Tabla 6).

Velocidad de la ruta de escaneo

Para calcular la velocidad del “scanpath” obtenemos el número de píxeles mostrados por tiempo invertido en cada tarea (px / s). El grupo A mostró una mayor rapidez, lo que puede denotar una mayor familiaridad en el desempeño de las tareas del grupo B, pero una mayor examinación de la información del grupo A que los llevó a respuestas más correctas (Tabla 6).

Tabla 6 Fijaciones por segundo (nf/s). Píxeles por segundo (px/s).

Tarea	Fijaciones		Píxeles		nf/s		px/s	
	A	B	A	B	A	B	A	B
1	111	65	55232	30498	2.94	3.25	1466	1519
2	67	49	33527	23370	2.91	2.88	1459	1365
3	107	60	56206	28881	2.75	2.86	1453	1381

4	62	71	33308	32783	2.38	2.75	1286	1261
5	37	60	18843	27001	2.55	2.76	1283	1245
6	132	143	64587	63997	3.04	2.85	1486	1269
Total	516	448	261703	206530	2.76	2.9	1406	1340

Fuente: Elaboración propia

Comparación de métricas de usabilidad

Los resultados: una mayor efectividad en el mapa interactivo del Grupo A, lo que implica la ejecución de tareas con menor esfuerzo (Tabla 7).

Errores más comunes encontramos las ilusiones ópticas mencionadas en el Grupo B y en el Grupo A dejar de usar la interacción por creer que es fácil realizarlo sin ella.

La eficiencia es superior en el Grupo A, aunque la tarea promedio en cuestión de tiempo es menor inicialmente en el Grupo B, las respuestas de este grupo son en su mayoría incorrectas (Tabla 7).

Con respecto a la satisfacción, los resultados favorecen al Grupo A ya que las respuestas positivas tienden a coincidir con las afirmativas (Tabla 7). En la Tarea 1, el Grupo B reportó mayor satisfacción, lo que evidencia la traición que sufre el participante al inicio; y en la Tarea 3, por su fácil ejecución, aunque se cuestionan la satisfacción total porque los participantes indican que se confunden con las sombras. Una "prueba t de dos muestras" indica que no hay una diferencia significativa en la satisfacción entre los grupos ($t = 0,1832$).

Tabla 7 Comparación de la Efectividad, Eficiencia y Satisfacción, Grupos A y B.

Tarea	Efectividad		Eficiencia		Satisfacción	
	Grupo A	Grupo B	Grupo A	Grupo B	Grupo A	Grupo B
1	96.97%	3.87%	73.09%	17.62%	85.45%	86.67%
2	57.36%	24.24%	90.58%	54.53%	89.29%	82.93%
3	57.36%	96.97%	49.62%	95.24%	85.86%	89.60%
4	93.94%	25.91%	81.38%	70.44%	87.37%	81.21%
5	100.00%	43.94%	77.49%	50.61%	89.39%	78.79%
6	19.27%	3.82%	24.17%	8.11%	81.87%	59.70%
TOTAL	70.82%	33.12%	66.06%	49.43%	86.54%	79.82%

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, presentamos unos gráficos comparativos de ambos grupos y de todas las tareas. Podemos observar que, al inicio, el tiempo promedio es mayor para el Grupo A pero la tendencia se revierte a medida que avanzan las tareas (Figura 3).

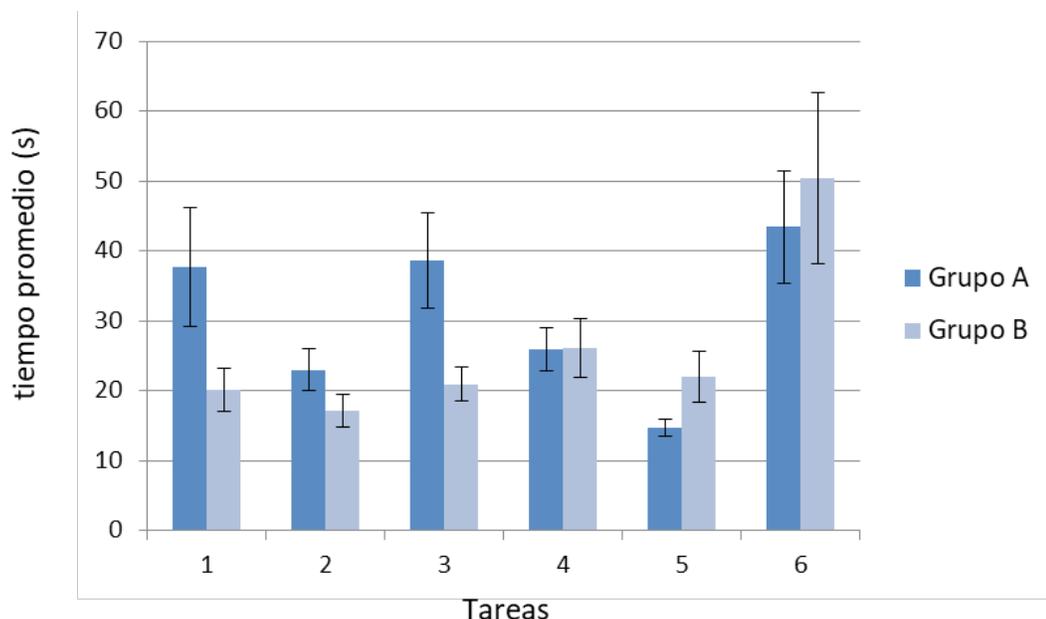


Figura 3 Tiempo promedio dedicado a cada tarea del Grupo A y Grupo B, con intervalos de confianza.

Fuente: Elaboración propia

En cuanto al éxito, todas las tareas excepto la Tarea 3 se ejecutaron con éxito a favor del Grupo A, pero no encontramos diferencias estadísticas en esta tarea. Las tareas 1 y 6 presentan las mayores diferencias estadísticas (Figura 4).

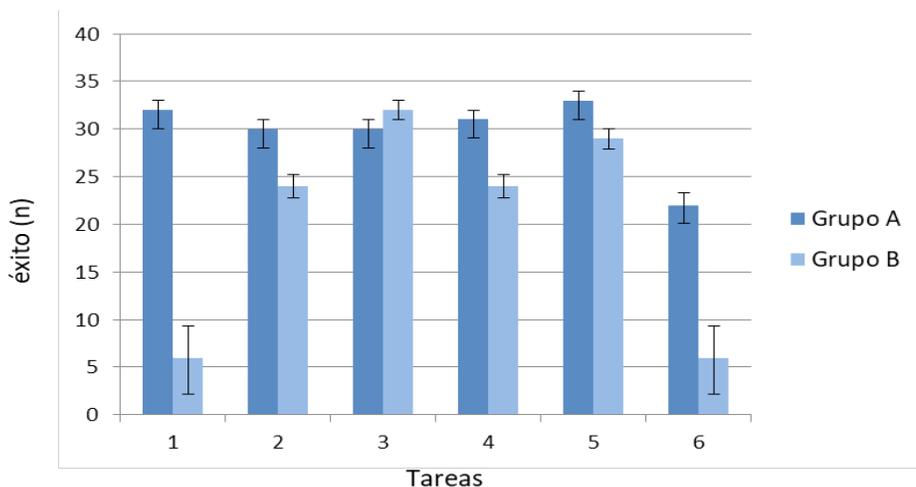


Figura 4 Respuestas correctas (éxito) Grupo A y B.

Fuente: Elaboración propia

DISCUSIÓN

Como se puede ver en los resultados cuantitativos, ambos mapas son diferentes. El Grupo A superó al Grupo B en las tres métricas de usabilidad con diferencias estadísticamente significativas, a excepción de la satisfacción, que fue mayor para el Grupo A pero no estadísticamente diferente. Así, se puede decir que en realidad la interacción cartográfica desarrollada para el Grupo A mejora la usabilidad de un mapa de coropletas, indicando que se puede romper la regla típica de que los mapas de coropletas solo pueden mostrar cómodamente de 5 a 7 categorías, ya que aquí

se ha presentado evidencia para 8 categorías y las ganancias han sido evidentes (Tabla 8 y Figura 5). O bien, la regla típica no aplica en este caso.

Tabla 8 Comparación de las métricas de la Usabilidad para el Grupo A y el Grupo B.

METRICA	GRUPO A	GRUPO B
EFFECTIVIDAD	70.82%	33.12%
EFICIENCIA	66.06%	49.43%
SATISFACCION	85.00%	78.00%

Fuente: Elaboración propia

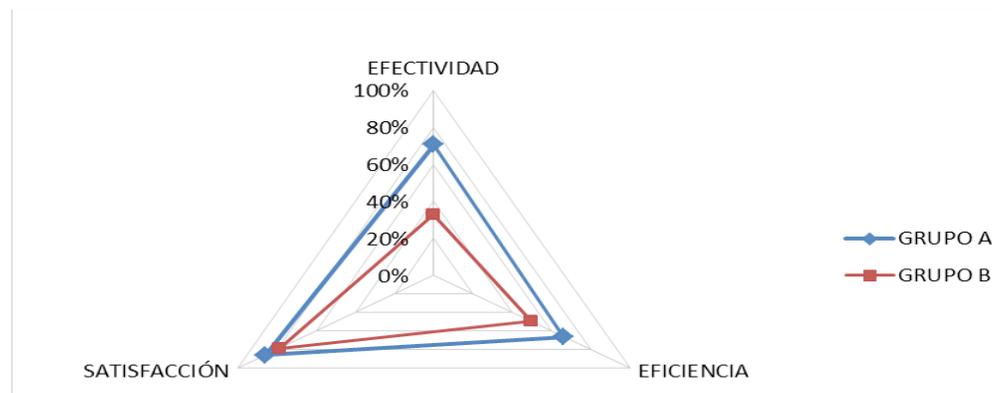


Figura 5. Comparación de métricas de usabilidad para el Grupo A y el Grupo B.

Fuente. Elaboración propia

Un aspecto importante a destacar es que muchos consideraron fácil la ejecución de tareas en el mapa estático, pero no se dieron cuenta de que sus respuestas eran incorrectas, es decir, fueron prácticamente engañados por los diferentes problemas de los mapas de coropletas y la satisfacción en estos casos puede ser dudosa, aunque algunos en el mapa estático recomendaron que desearían haber visto las respuestas correctas para estar seguros de que sus evaluaciones de satisfacción eran objetivas. Algo similar sucedió al inicio del ejercicio con el mapa interactivo, en el que los participantes, pensando que era algo muy fácil de visualizar y responder, se negaron a utilizar la interacción, situación que se revirtió al comprobar que la interacción les daba la respuesta correcta, diferente de la mostrada solo visualizando. La métrica de usabilidad de la diferencia más significativa fue la efectividad, que se enfoca en las respuestas correctas y los errores, que creemos es una de las métricas de usabilidad más importantes (éxito / precisión). La eficiencia está en segundo lugar. Cabe señalar que en las primeras tareas el tiempo fue menor para el mapa no interactivo, y esto se debió a que los participantes del Grupo A tendieron a visualizar primero las respuestas y luego utilizar la interacción, algo que cambió en las últimas tareas ya que utilizaron con más confianza la ventaja interactiva al ver que sus respuestas solo visualizadas tendían a traicionarlos. Por lo que las últimas tareas se realizaron en menos tiempo en el mapa interactivo.

Los participantes encontraron dificultades en ambos mapas. El Grupo B propuso diferenciar los niveles de color y el uso de otros colores, mientras que algunos participantes sugirieron que las áreas se podrían agrandar, el mapa tenía la herramienta de zoom (pero esta no fue utilizada por ninguno de los participantes). Para el Grupo A, primó que no encontraron ninguna dificultad, con solo unos pocos participantes refiriéndose a los colores, pero en menor medida que el Grupo B, ya que como sabemos, el color es una de las variables cartográficas más conspicuas. Dos participantes eran daltónicos, uno en el Grupo A y otro en el Grupo B. El del Grupo A realizó todas las tareas correctamente y agradeció no poder depender del color para realizarlas; el del Grupo B solo realizó correctamente la mitad de las tareas, lo que nos lleva a concluir que la interacción en este tipo de mapas puede ir más allá de la norma típica establecida en la cartografía impresa y ayudar a las personas con dificultades visuales.

Este estudio es de importancia debido a que es un avance en cuanto al número de clases que se puede establecer para mapas de coropletas, argumento tan discutido en la bibliografía de algunos autores que hemos presentado, ya que nos encamina a poder romper la regla (o a que no se aplique en este caso), estimulando el mapa y al usuario por medio de la interacción cartográfica. Durante mucho tiempo los estudios en mapas de coropletas se centraron en los esquemas de color óptimos y la percepción del color para su representación, que ya está bastante estudiado, luego se centraron en estudios sobre efectividad y número de clases (Gilmartin & Shelton, 1990) que se realizaron en mapas estáticos, estableciendo algunos números de clase según el color utilizado. El presente estudio puede aportar mucho a las conclusiones sobre la típica norma de 7 clases o niveles, que como otros autores han expuesto (Harrower, 2007), cuestionan si esta regla puede aplicarse a mapas animados, ya que muchos conceptos antiguos de mapas impresos no lo hacen, y en este caso, como lo hemos comprobado, sería un ejemplo de que en los mapas interactivos esta regla no aplica.

Existen pocos estudios sobre la usabilidad entre mapas estáticos y mapas interactivos, algunos de los que podemos obtener que la interacción cartográfica mejora la usabilidad en la mayoría de sus métricas, que han sido corroborados también en este estudio. Podemos afirmar además que la interacción cartográfica en realidad complementa la representación cartográfica (Roth, 2013) y que debe continuar estudiándose esta nueva línea en cartografía, de la que hay muy poco. Además, como pudimos ver la leyenda de la que también hay pocos estudios (Qin & Li, 2017) resulta ser un elemento importante al que brindarle interacción, en especial en este tipo de mapas, pues los resultados han sido de beneficio.

En cuanto a las aplicaciones de estos resultados creemos que pueden ser muchas, ya que este tipo de mapas son muy utilizados en especial en representación de fenómenos de tipo sociodemográfico, pudiéndose extender a todos los tipos, ya que en muchos casos, este tipo de problemas, como los ya mencionados: contraste simultáneo e ilusión de Ebbinghaus (McGranaghan, 1989; Harrower, 2007), se encuentran en otros tipos de mapas (corocromáticos, isopletas, etc.).

Dentro del estudio también existieron limitaciones, como la de aplicarlo a mapas con mayor número de clases, nueve o diez, la de experimentar con otras gamas de color y la de experimentar con otras formas de interacción, o con unidades administrativas más regulares, o de compararlo con otras formas de representación (Besançon et al., 2020), en cuyo caso, quedaría para futuras investigaciones en el área.

CONCLUSIONES

Ahora que se han analizado las métricas de usabilidad, se concluye que ambos mapas son diferentes, y que el uso de la interacción en la leyenda puede encaminarnos a romper la típica norma cartográfica de que un mapa de coropletas solo es capaz de representar hasta siete categorías o clases de visualización sin dificultades. La usabilidad fue superior en el Grupo A en métricas de rendimiento con diferencias estadísticamente significativas. Además, podemos encontrar muchos mapas de coropletas interactivos y animados, pero consideramos que la leyenda, al ser una abstracción de la esencia del mapa y ser un traductor de símbolos, es uno de los elementos a los que se le debe dar interacción y que en realidad transporte o medie la comunicación con toda la representación geográfica.

Podemos concluir que la interacción cartográfica ha desafiado la norma típica de los 7 niveles del mismo color. O al menos establecer que en este caso de mapa interactivo la norma no aplica. Además de ello, comprendemos que inicialmente puede tomar un tiempo acostumbrarse a la interacción cartográfica, pero una vez se corrobora su utilidad se hace más frecuente y fácil su uso, evitando las ilusiones ópticas y problemas que tienen los mapas estáticos. Además, puede ser de utilidad a personas con diferencias visuales como se vio en los casos de daltonismo. Un espacio futuro de investigación es el nivel de color al que puede representar un mapa de coropletas interactivo, además de realizar la investigación de este tema en otros tipos de mapas que son difíciles de visualizar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bertin, J. (2011). *Semiology of graphics: Diagrams, networks, maps*. ESRI Press.
- Besançon, L., Cooper, M., Ynnerman, A., & Vernier, F. (2020). "An evaluation of visualization methods for population statistics based on choropleth maps". *arXiv preprint arXiv:2005.00324*. CoRR, abs/2005.00324, 2020.
- Brewer, C. (1997). "Spectral schemes: Controversial colour use on maps", *Cartography and Geographic Information Science*, 24(4), pp. 203–20. DOI: 10.1559/152304097782439231
- Brewer, C. & Harrower, M. (2003). "ColorBrewer.org: An Online Tool for Selecting Colour Schemes for Maps", *The Cartographic Journal*, 40(1), pp. 27-37. DOI:10.1179/000870403235002042

- Brychtová, A. & Dolezalová, J. (2015). "Designing Usable Sequential Colour Schemes for Geovisualizations", *Proceedings of the 1st ICA European Symposium on Cartography*, pp. 31-32. Vienna, Austria: 10th-12th November, 2015
- Brychtová, A., & Çöltekin, A. (2016). "An empirical user study for measuring the influence of colour distance and font size in map reading using eye tracking", *The Cartographic Journal*, 53(3). pp. 202-212. DOI:10.1179/1743277414Y.0000000103
- Cybulski, P., & Krassanakis, V. (2020). The Role of the Magnitude of Change in Detecting Fixed Enumeration Units on Dynamic Choropleth Maps. *The Cartographic Journal*, 1-17. DOI: 10.1080/00087041.2020.1842146
- Cybulski, P. (2022). An Empirical Study on the Effects of Temporal Trends in Spatial Patterns on Animated Choropleth Maps. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(5), 273. DOI: 10.3390/ijgi11050273
- Gómez Solórzano, L. S., Sancho Comins, J., & Bosque Sendra, J. (2017). Atlas Design: A Usability Approach for the Development and Evaluation of Cartographic Products. *The Cartographic Journal*, 54(4), 343-357. DOI: 10.1080/00087041.2017.1393189
- Gilmartin, P., & Shelton, E. (1990). "Choropleth maps on high resolution CRTs: The effect of number of classes and hue on communication", *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 26(2), pp. 40-52. DOI: 10.3138/w836-5k13-1432-4480
- Harrower, M. (2007). "Unclassed Animated Choropleth Maps", *The Cartographic Journal*, 44(4), pp. 313-320. DOI: 10.1179/000870407X241863
- Krassanakis, V., & Cybulski, P. (2021). Eye Tracking Research in Cartography: Looking into the Future. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(6), 411. DOI: 10.3390/ijgi10060411
- Mandal, S. (2013). *Concept of choropleth mapping and analysis*, University of Calcuta: Lambert Academic Publishing.
- McGranaghan, M. (1989). "Ordering Choropleth Map Symbols: The Effect of Background", *The American Cartographer*, 16(4), pp. 279-285. DOI: 10.1559/152304089783813918
- Mu, W., & Tong, D. (2022). A general model for creating robust choropleth maps. *Computers, Environment and Urban Systems*, 96(101850). DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2022.
- Nielsen, J. (1993). *Usability engineering*. Boston: Academic Press.
- Qin, Z., & Li, Z. (2017). "Grouping Rules for Effective Legend Design", *The Cartographic Journal*, 54(1), pp. 36-47. DOI: 10.1080/00087041.2016.1148105
- Roth, R. E. (2013). "Interactive maps: What we know and what we need to know", *Journal of Spatial Information Science*, (6). DOI: 10.5311/josis.2013.6.105
- Slocum, T. A. (2009). *Thematic Cartography and Geographic Visualization*, Upper Saddle River, NJ: Pearson / Prentice-Hall
- Stewart, J., & Kennelly, P. J. (2010). "Illuminated Choropleth Maps", *Annals of the Association of American Geographers*, 100(3), pp. 513-534. DOI: 10.1080/00045608.2010.485449