

Visualización de diferentes variables atmosféricas alrededor de los huracanes

Visualization of different atmospheric variables around hurricanes

Nathalia Soto-Abarca¹

Jose Cubillo-Mora²

María J. Rodríguez-San Lee³

Ph.D. Franklin Hernández-Castro⁴

N. Soto, J. Cubillo, M. Rodríguez y Ph.D F.Hernández “Visualización de diferentes variables atmosféricas alrededor de los huracanes”, IDI+, vol. 6 no 2, Ene., pp. 19-32, 2024.

 <https://doi.org/10.18845/ridip.v6i2.6978>

Fecha de recepción: 18 de junio de 2023

Fecha de aprobación: 12 de octubre de 2023

1. Nathalia Soto-Abarca
Estudiante de Ingeniería en Diseño Industrial
Instituto Tecnológico de Costa Rica,
Cartago, Costa Rica
nsotoabarca@estudiantec.cr
 0000-0002-3557-0527

3. María J. Rodríguez-San Lee
Estudiante de Ingeniería en Diseño Industrial
Instituto Tecnológico de Costa Rica,
Cartago, Costa Rica
majosanlee@estudiantec.cr
 0009-0001-9734-9078

2. Jose Cubillo-Mora
Estudiante de Ingeniería en Diseño Industrial
Instituto Tecnológico de Costa Rica,
Cartago, Costa Rica
andrescm3@estudiantec.cr
 0009-0006-9643-922X

4. Ph.D. Franklin Hernández-Castro
Profesor Instituto Tecnológico de Costa Rica
Instituto Tecnológico de Costa Rica,
Cartago, Costa Rica
franhernandez@itcr.ac.cr
 0000-0003-3589-4588

Resumen

Este artículo se enfocó en una visualización de los datos sobre las características de los huracanes del Atlántico norte y variables atmosféricas en un periodo de 100 años (1920-2020). Asimismo, el propósito de la visualización fue identificar posibles correlaciones entre las variables atmosféricas y algunas de las características de los huracanes generados a lo largo de los años en la zona del Atlántico norte, para esto se utilizaron los datos reportados por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) de la NASA y su División de Investigación de Huracanes.

También, para el desarrollo de este proyecto, se empleó la metodología de *Dashboard design* elaborada por el Ph.D. Franklin Hernández-Castro. La cual se ajustó de manera adecuada al proceso de investigación para la visualización de datos, mismo que abarcó múltiples etapas de investigación, diseño y evaluación. Además, se implementaron las herramientas *System Usability Scale* (SUS) y la norma ISO 9241-1, a fin de evaluar la usabilidad del producto digital.

Finalmente, cabe mencionar que la herramienta logró satisfacer sus objetivos y expectativas en cuanto a la visualización de la correlación entre variables utilizando el paradigma de visualización *heat map* y sus componentes. Sin embargo, se presentaron dificultades y limitaciones en la interacción de algunos componentes de la visualización, las cuales se identificaron para determinar sus posibles soluciones a modo de recomendación.

Palabras clave: visualización de datos; mapa de calor; huracanes Atlántico norte; variables atmosféricas; cambio climático.

Abstract

This paper focused on a visualization of data on North Atlantic hurricane characteristics and atmospheric variables over a 100-year period (1920-2020).

Also, the purpose of the visualization was to identify possible correlations between atmospheric variables and some of the characteristics of hurricanes generated over the years in the North Atlantic area, using data reported by NASA's National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) and its Hurricane Research Division.

The "Dashboard design" methodology developed by Ph.D. Franklin Hernández-Castro was used for this project. This methodology was adequately adjusted to the research process for data visualization, which included multiple stages of research, design and evaluation. In addition, the System Usability Scale (SUS) and ISO 9241-1 tools were implemented to evaluate the usability of the digital product.

Finally, it is worth mentioning that the tool was able to meet its objectives and expectations in

terms of visualizing the correlation between variables using the heat map visualization paradigm and its components. However, there were difficulties and limitations in the interaction of some components of the visualization, which were identified to determine possible solutions as a recommendation.

Keywords: data visualization; heat map; North Atlantic hurricanes; atmospheric variables; climate change.

Introducción

Este proyecto corresponde al trabajo final del curso Diseño IX del plan de estudios de la carrera de Ingeniería en Diseño Industrial con énfasis en Comunicación Visual, el cual es impartido por el Ph.D. Franklin Hernández-Castro del Instituto Tecnológico de Costa Rica. El objetivo del proyecto es el diseño de una visualización de datos referentes al cambio climático y su correlación con algunas características de los huracanes del Atlántico norte.

La Tierra está experimentando un cambio climático debido al daño antropogénico, lo que está generando repercusiones en los fenómenos meteorológicos, en particular, en los huracanes, los cuales pueden verse afectados por el incremento en el calentamiento global y el nivel del mar [1]. Este evento genera preocupación en la comunidad científica, al ser uno de los desastres naturales más dañinos en la historia de ciertos países [2]. Expertos prevén que “indicadores como la frecuencia, potencia, cantidad de lluvia y probabilidad de que un huracán se intensifique están ligados directamente al cambio climático” [3].

Los datos recopilados para el desarrollo del proyecto son referentes a los distintos parámetros de los huracanes de la región del Atlántico norte, como el número de huracanes generados en cada año desde 1920 hasta el 2020, su velocidad y presión atmosférica mínima. Por otro lado, los datos atmosféricos contrastados constituyen las anomalías en la temperatura de la atmósfera, en la temperatura del océano y el nivel del mar.

Trabajo relacionado

Diversas investigaciones hacen uso de datos atmosféricos para facilitar y determinar las repercusiones del cambio climático, por ejemplo, el *software* desarrollado por Inchausti et al. [4], que permite visualizar el comportamiento de variables atmosféricas e hídricas afectadas por contaminantes, a través de filtros de tiempo, variables y región; además de mostrar los datos máximos, mínimos y el promedio de cada serie. Sin embargo, en él no se detalla las relaciones entre las variables planteadas ni una comparativa entre regiones, lo que limita la visualización a escenarios aislados. Opuesto a lo que se busca realizar en la visualización actual, la cual permite identificar posibles relaciones entre distintas variables atmosféricas afectadas por el cambio climático y sus repercusiones en fenómenos naturales (huracanes).

Tal es el caso del análisis de Chen [5], que considera las variables del calentamiento global y la urbanización, generando un sistema que analiza una gran cantidad de datos con distintos parámetros recopilados en tiempo real de la calidad ambiental, los cuales se visualizan a través de imágenes gráficas intuitivas con Google Earth y proporcionan una interacción y análisis entre el servidor y los usuarios, mostrando patrones ocultos entre datos complejos y masivos. Así como lo plantean algunos estudios enfocados en la problemática del análisis visual de secuencias temporales de variables múltiples, en casos específicos de estudio [6], haciendo uso de datos climáticos mundiales con registros temporales; cuyo diseño utiliza la combinación de matrices de diagramas de dispersión y patrón recursivo mediante un mapa geográfico como base representativa de la información, el cual permite a los usuarios seleccionar y escoger cuál información desea mostrar sobre el mapa y el tipo de técnica gráfico.

Por otro lado, investigaciones plantean una combinación de escenarios donde se permite ver las variaciones causadas por el cambio climático y el efecto y evolución de determinadas variables, así como lo detalla el geovisor y su *dashboard* Cambia Climasig [7], que muestra la temperatura media y precipitación total, además de sus respectivos indicadores de cambio de tres horizontes temporales (2011-2040, 2041-2070, 2071-2100), mismos que limitan la visualización de datos, ya que impide observar de manera específica un año en concreto.

Caso contrario a la presente investigación, que plantea una visualización a través de los años 1920 a 2020, con acceso a cada uno de ellos. Ejemplo de esto es el *dashboard* de monitoreo diseñado por Da Cunha et al. [8], que analiza los patrones de variabilidad del fenómeno del Niño-Oscilación del sur (ENOS) y sus efectos en las poblaciones de pequeños mamíferos, haciendo uso de diferentes capas informativas y visuales de *dashboards*. Esto permite evaluar y determinar las tendencias, repercusiones y relaciones entre ambos fenómenos con ayuda de datos meteorológicos y variables climáticas asociadas a ENOS y del monitoreo de las especies, con filtros por año, tipo de especie e intensidad del fenómeno. Su planteamiento y visualización permite ser referente y extrapolar su iniciativa a otras investigaciones asociadas a otros fenómenos naturales como los huracanes y la influencia del cambio climático en ellos.

En estudios referentes a la visualización de datos de huracanes, el uso de macrodatos geospaciales permite generar avances en la investigación, al predecir y visualizar el riesgo potencial o vulnerabilidad a los peligros naturales [9]; como el análisis del CURDS [1], el cual muestra una visualización de la trayectoria de los huracanes y tormentas tropicales que llegaron a la costa este de Estados Unidos entre 1950 y 2018. Abarca las variables de los huracanes como nombre, fecha, presión e intensidad.

Otro ejemplo de visualización de datos que hace uso de datos de huracanes recopilados a lo largo de la historia es el desarrollado por el diseñador John Nelson [10]. Esta representación muestra en línea de tiempo una recopilación de huracanes y tormentas tropicales desde 1851, al exponer la severidad y progresión de los huracanes a lo largo de sus trayectorias. Lo mismo

ocurre con la visualización realizada por el científico Sean Justice [11], a través de su mapeo de los datos de huracanes y las tendencias de la intensidad de las tormentas. Incluye dos formas para visualizar la información de los huracanes, por año y por nombre.

La primera muestra la totalidad de las tormentas según su categoría en un lapso de 12 meses. La segunda muestra un análisis del huracán por la cantidad de tiempo que estuvo clasificado en cada categoría. Los tres casos anteriores no realizan una comparativa entre variables, estableciendo posibles relaciones entre los datos, lo cual es fundamental para el desarrollo de este proyecto, a fin de identificar las posibles causas de la frecuencia e intensidad de los huracanes.

Otra manera de representar datos sobre huracanes es por medio de recursos en 3D como lo hace la empresa Esri en su diseño [12]; muestra el ciclo de vida de los huracanes a lo largo de su desplazamiento, utiliza elementos en tres dimensiones, con apoyo del color, para mejorar la representación de la trayectoria de la tormenta. Como último caso de estudio, Pisut [13] analiza los patrones espacio-tiempo de los huracanes, a través de una visualización de datos en capas de puntos y líneas de seguimiento mediante un mapa informativo de eventos meteorológicos (tormentas). Estas capas impulsan el análisis de tendencias en el número de tormentas, la actividad regional, la intensidad y la duración de temporadas. Además, hace uso de una cuadrícula hexagonal con una escala de colores para representar la intensidad de la frecuencia de las tormentas.

Metodología

Para el desarrollo de este proyecto, se empleó la metodología de *Dashboard design* metodología básica elaborada por F. Hernández-Castro [14]. La cual se ajustó de manera adecuada al proceso de investigación para la visualización de datos, con los cuales se llevaron a cabo los siguientes procesos. Se recolectaron dos conjuntos de datos con el propósito de establecer relaciones entre ellos. El primer conjunto se obtuvo de la base de la División de Investigación de Huracanes sobre los huracanes del Atlántico norte de la NASA [15]. Se recopiló información respecto a la cantidad de huracanes por año, el promedio de velocidades y la presión atmosférica de estos.

El segundo conjunto de datos se obtuvo de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) [16] de la NASA, en él se recolectan los datos sobre las anomalías en la temperatura atmosférica, temperatura del océano y nivel del mar. Se generó una tabla que contiene los datos recopilados por año, a partir de ellos se realizó una normalización de escalas entre todas las seis variables que se seleccionaron; la cual consiste en la conversión de los valores en una escala entre 0 y 1, de modo que se obtenga una estandarización de los datos, con el fin de lograr una comparación de la información de manera más equitativa [17]. El consolidado de datos abarca el período 1920-2020. Se decidió comenzar a partir de 1920 debido a la falta de información

disponible para años anteriores. Además, este rango de tiempo se seleccionó considerando un margen comparativo entre el periodo previo y posterior a los efectos del calentamiento global. Considerando el propósito de la visualización de datos en la identificación de posibles relaciones entre las variables de los huracanes y las variables atmosféricas, se formularon las siguientes preguntas objetivo:

Principal: ¿Cuál ha sido la correlación entre las variables atmosféricas y las características de los huracanes generados a lo largo de los años desde 1920 a 2020 en la zona del Atlántico norte?

Secundarias:

- P1. ¿La temperatura del océano presenta alguna relación con la cantidad de huracanes?
- P2. ¿La velocidad de los huracanes tiene alguna relación proporcional con la temperatura del océano?
- P3. ¿Cuál es la posible relación entre la cantidad de huracanes y el nivel del océano?
- P4. ¿Existe una relación entre la presión atmosférica de los huracanes y la temperatura atmosférica?

Para la exploración de paradigmas, se buscaron las mejores opciones posibles para responder a las preguntas objetivo planteadas [18]. El principal criterio considerado en el análisis fue la selección de variables relacionadas con datos a lo largo de los años. De esta manera, se buscó visualizar la evolución temporal y la relación entre estas variables. Para lograrlo, se seleccionaron tres tipos de gráficos: mapa de calor, gráfico lineal e histograma radial. Además, en cuanto a la selección del paradigma más adecuado, se llevó a cabo un ejemplo de visualización utilizando una pequeña muestra de datos en los paradigmas preseleccionados. A partir de esto, se realizó una evaluación comparativa utilizando tablas para determinar cuál responde mejor a las preguntas objetivo y requerimientos de usabilidad, como se muestra a continuación.

TABLA I
MATRIZ DE EVALUACIÓN EN RELACIÓN CON
LAS PREGUNTAS OBJETIVOS

POS	Heat Map	Line Graph	Radial Histogram
La temperatura del océano y la cantidad de huracanes	5	4	4
La temperatura del océano y la velocidad de los huracanes	5	4	4
La cantidad de huracanes y el nivel del océano	5	4	4
La presión atmosférica de los huracanes y la temperatura atmosférica	5	4	4
Total	20	16	16

Nota: La tabla muestra los resultados de la evaluación comparativa entre cada tipo de gráfico en relación con las preguntas objetivos.

TABLA II
MATRIZ DE EVALUACIÓN DE ANÁLISIS
DE USABILIDAD

Criterios de usabilidad	Heat Map	Line Graph	Radial Histogram
Intuitivo	4	4	3
Atractivo	5	2	5
Facilidad de lectura	4	5	2
Facilidad de uso	4	5	5
Rápida interpretación	3	4	2
Permite comparaciones	5	3	4
Visualización global	5	5	2
Visualización específica	5	5	4
Facilita análisis	3	3	2
Total	38	36	29

Nota: La tabla muestra los resultados de la evaluación comparativa entre cada tipo de gráfico en relación con criterios de usabilidad.

El mapa de calor fue seleccionado como el paradigma más adecuado para visualizar los cambios en los valores de las variables de huracanes y variables atmosféricas a lo largo de 100 años. Esto porque permite observar de manera efectiva las tendencias y correlaciones entre estas variables mediante una escala de color.

La visualización de datos del proyecto se desarrolló en el *software* Figma (versión 116.9.6), el cual funciona como editor de gráficos vectorial y un sistema de prototipado. Por consiguiente, sirvió de insumo para implementar los componentes UI y las interacciones pensadas por el equipo de diseño, al ser una herramienta que permite generar prototipos desde cero, generando así las diversas conexiones entre elementos, garantizando su correcto funcionamiento.

Para realizar la validación del diagrama, se diseñó una prueba heurística, siguiendo los lineamientos establecidos por las normas ISO 9241-11[19], donde las tareas fueron definidas con base en las preguntas objetivo, de manera que se identificara si la visualización funciona para darles respuesta. En dicha prueba, se contempló la cantidad de errores, solicitudes de ayuda y duración para realizar cada tarea, los cuales son atributos referentes al nivel de eficacia y satisfacción de la herramienta diseñada.

Asimismo, se desarrolló un cuestionario SUS [20] para medir el nivel de satisfacción de los *testers*, el cual estaba constituido por 10 afirmaciones sobre el uso de la herramienta con la que los participantes debían definir si estaban o no de acuerdo con ellas.

Por último, los datos fueron tabulados y presentados según las normas ISO 25062 [21] para su posterior interpretación y análisis.

Resultados

Se seleccionaron cinco testers adultos [22] para las pruebas de validación, con un alto dominio en el uso de computadores, de modo que este no interfirió negativamente en los resultados de las pruebas. No obstante, el nivel de experiencia respecto a las visualizaciones de datos varió entre cada uno ellos (desde un nivel nulo hasta un nivel avanzado), con lo cual se identificó que el nivel de experiencia influyó en el rendimiento de la persona usuaria. Los datos referentes a cada participante se muestran en la siguiente tabla:

TABLA III
PARTICIPANTES

	Sexo	Edad	Educación	Ocupación	Experiencia con computadores	Experiencia con el producto
P1	F	30	Universidad completa	Topógrafa	Alta	Nula
P2	M	25	Universidad completa	Ingeniero en sistemas	Alta	Nula
P2	F	55	Universidad completa	Analista Financiera	Alta	Alta
P4	M	27	Universidad en proceso	Ingeniero en sonidos	Alta	Alta
P5	M	52	Universidad completa	Ingeniero en sistemas	Alta	Media

Nota: Descripción de cada uno de los cinco participantes de la prueba

Los resultados que se obtuvieron en las pruebas realizadas de acuerdo con las normas ISO 9241-11, se detallan en la siguiente tabla:

TABLA IV
RESUMEN PRUEBAS HEURÍSTICAS

	Tareas sin asistencia	Tareas con asistencia	Tiempo (minutos)	Errores	Asistencia
P1	75%	25%	3:46	2	2
P2	75%	25%	4:32	0	1
P3	100%	0%	3:29	1	0
P4	100%	0%	2:55	0	0
P5	100%	0%	3:00	0	0
Promedio	85%	15%	3:32	0.6	0.6
Des. Estándar	22.4	22.4	0.03	0.9	0.9
Valor mín.	50%	0%	2:55	0	0
Valor máx.	100%	50%	4:32	2	2

Nota: Resumen de resultados por participante en tareas con y sin asistencia, tiempo, errores realizados y asistencias requeridas en la prueba.

Por otro lado, respecto a la herramienta System Usability Scale (SUS) y el nivel de satisfacción que percibió cada participante, se detalla en la siguiente tabla:

TABLA V
ESCALA SUS

P1	P2	P3	P4	P5	Promedio	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo
75	76	72.5	97.5	82.5	80.7	10	72.5	97.5

Nota: La tabla muestra los resultados resumidos del cuestionario SUS de cada participante.

Se identificó que todos los puntajes de los testers superaron o igualaron el 75% del valor máximo que se podía conseguir, es decir, 100. Por consiguiente, se obtuvo un promedio de 80.7, mismo que corroboró que la visualización brindó un nivel de satisfacción elevado para los usuarios, que garantizó una adecuada usabilidad en el sistema.

Por otro lado, se incorporó un filtro de visualización de las variables, que facilitó una respuesta más rápida y precisa a las preguntas objetivo. Así, las variables que no estaban involucradas en el caso de uso se desactivaron, de manera que no interrumpieron con la observación e interpretación de los datos requeridos. La figura 1 presenta la visualización con filtro aplicado en tres de las variables.

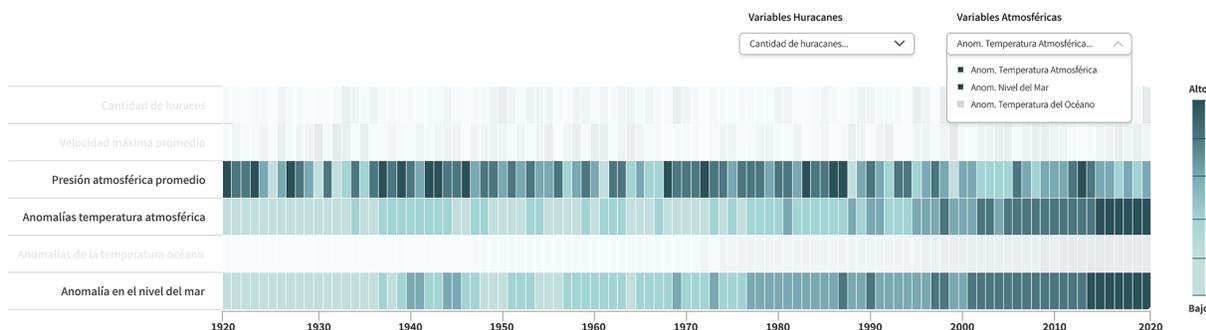


Fig. 1. Visualización de datos variables de huracanes y variables atmosféricas.

Del mismo modo, se implementó la posibilidad de movilizar verticalmente las filas de cada grupo de datos, con el propósito de que, en cada caso de uso, se pudieran colocar juntas, con lo que se obtuvo una apreciación más clara del patrón de los colores de ambas filas y así se identificó si existía alguna posible semejanza y respuesta.

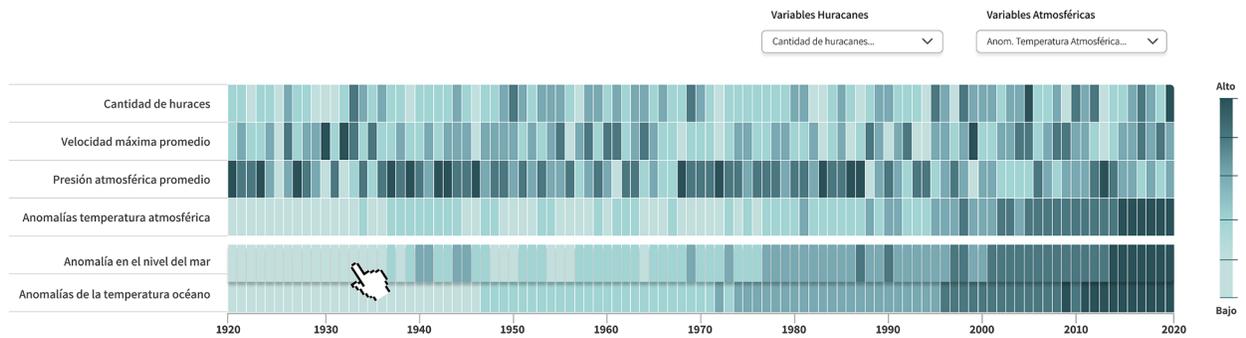


Fig. 2. Visualización del movimiento entre filas de datos.

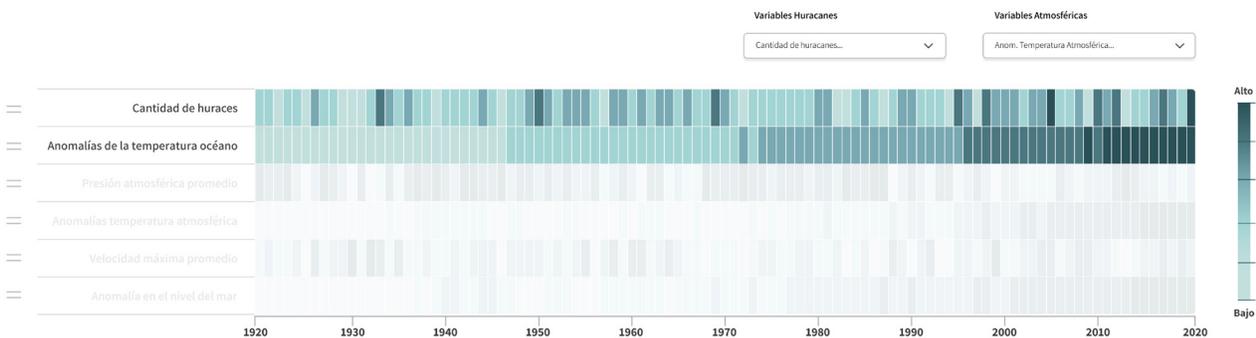


Fig. 3. Respuesta P1: ¿La temperatura del océano presenta alguna relación con la cantidad de huracanes?.

La figura 3 dio respuesta a la primera pregunta objetivo del proyecto. Las variables referentes a la cantidad de huracanes y a la temperatura del océano se mantuvieron activas y juntas, mientras que el resto de las variables, con un nivel menor de relevancia en el caso de uso, se desactivaron. A partir de los resultados, se observó un incremento en el nivel de temperatura oceánica, mientras que la cantidad de huracanes se mantuvo constante antes de 1990, donde se presentó una mayor cantidad de huracanes.

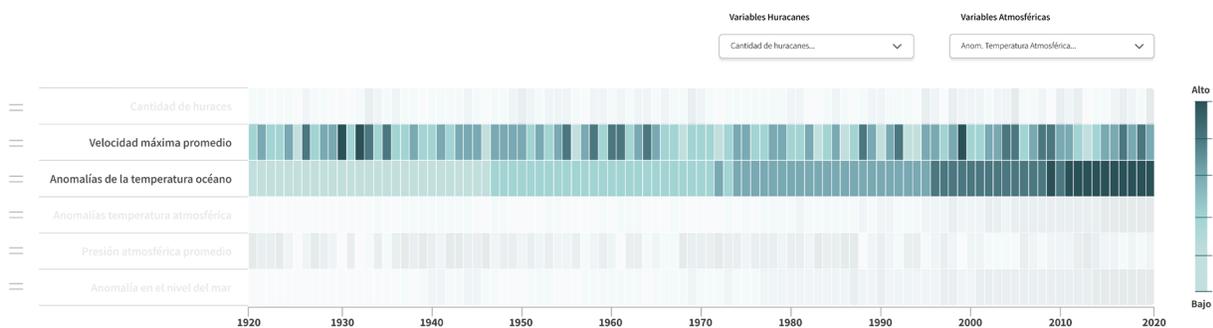


Fig. 4. Respuesta P2: ¿La velocidad de los huracanes tiene alguna relación proporcional con la temperatura del océano?.

La respuesta de la segunda pregunta objetivo se observó en la figura 4, donde las variables alusivas a la velocidad de los huracanes y a la temperatura del océano se presentaron activadas

y próximas, además, en cuanto al resto de variables, se encontraban desactivadas al no tener relevancia para obtener respuesta. En la visualización, se identificó que la velocidad máxima no se mantuvo constante en comparación con las anomalías de la temperatura del océano que fue en aumento.

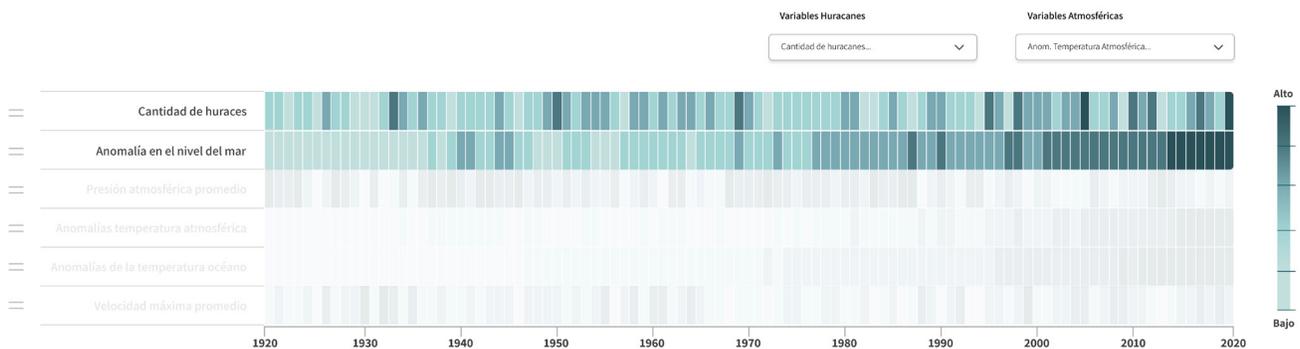


Fig. 5. Respuesta P3: ¿Cuál es la posible relación entre la cantidad de huracanes y el nivel del mar?

En la figura 5 se mostró cómo la visualización respondió a la tercera pregunta objetivo. La cantidad de huracanes y el nivel del mar jugaron un papel importante que dieron con la respuesta. Mediante la visualización, se observó un leve incremento en la cantidad de huracanes a partir de 1940 y constante aumento en el nivel del mar.

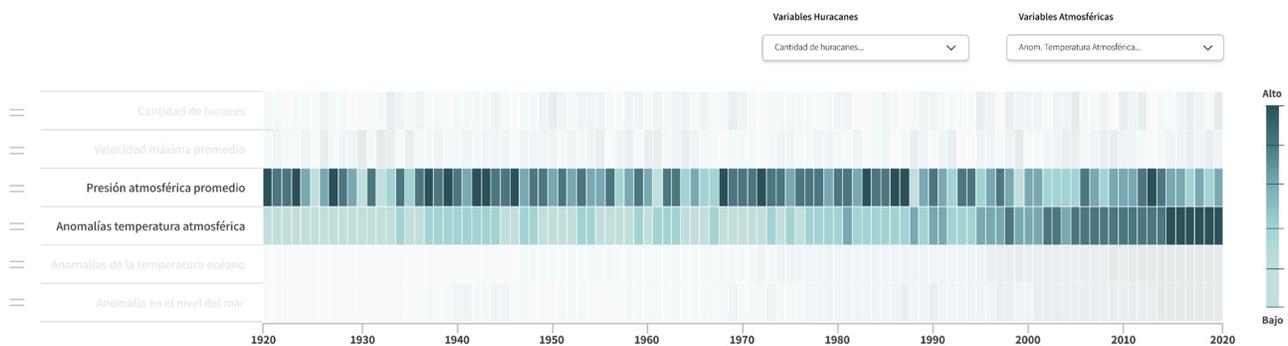


Fig. 6. Respuesta P4: ¿Existe una relación entre la presión atmosférica de los huracanes y la temperatura atmosférica?

La última pregunta objetivo implicaba las variables relativas a la presión atmosférica de los huracanes y la temperatura atmosférica promedio. En la figura 6, se denotó una posible relación inversa entre la temperatura atmosférica promedio y la presión atmosférica mínima de los huracanes.

Discusión de resultados

En el proceso de desarrollo de una visualización de datos de este tipo, es importante considerar la evaluación de diversos aspectos, tal como el grado de experiencia individual de cada *tester*.

Los niveles de habilidad y conocimiento varían entre usuarios, lo que impacta en la accesibilidad de la visualización e influye en la capacidad de los *testers* para interpretar e interactuar de manera más eficiente. Conforme los usuarios van avanzando con las preguntas, se observa una mejora en la interacción con el cuestionario, consecuencia lógica del proceso de aprendizaje.

Respecto a los resultados obtenidos en las pruebas heurísticas, según la norma ISO 9241-1, se permite inferir que la mayor parte de las tareas se realizan de manera correcta, de modo que todos los *testers* logran responder entre el 75% y 100% de las preguntas objetivo sin necesidad de solicitar asistencia en un promedio de 3:32 minutos. Además, se analiza que la visualización cumple con un nivel de eficacia y eficiencia adecuados para garantizar un manejo fluido de la herramienta por parte de los usuarios, mejorando la percepción que tienen sobre ella. Por otro lado, la cantidad de errores y asistencia requerida durante las pruebas dan un total de 3 para cada categoría, el cual es un valor considerado bajo.

Conclusiones

La visualización diseñada cumplió con las expectativas al representar de manera efectiva la correlación entre variables mediante el uso del paradigma *heat map* y sus componentes constituyentes. Sin embargo, se observó una dificultad notable con el movimiento vertical de las filas de cada grupo de datos, ya que los usuarios no identificaron inmediatamente que era posible interactuar con ellas para visualizar los datos de manera más cercana, esto debido a una falla en el planteamiento y señalización de dicha interacción. En relación con lo anterior y a modo de corrección, se recomienda incorporar en el diseño de la visualización, un componente que le facilite al usuario identificar intuitivamente la interacción relacionada con el movimiento vertical de las filas de datos.

A pesar de esta limitación, el diseño creado logró satisfacer sus objetivos al proporcionar una visualización que incluye elementos interactivos que facilitan su uso e interpretación.

Referencias

- [1] G. Park, "A Comprehensive Analysis of Hurricane Damage across the U.S. Gulf and Atlantic Coasts Using Geospatial Big Data", ISPRS International Journal of Geo-Information, vol. 10, no. 11, p. 781, nov 2021. Consultado: 29 mar., 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.3390/ijgi10110781>
- [2] R. Dottle, R. King y E. Koeze, "Hurricane Harvey's Impact - And How It Compares To Other Storms", FiveThirtyEight, <https://fivethirtyeight.com/features/hurricane-harveys-impact-and-how-it-compares-to-other-storms/> (Consultado 29 mar 2023).
- [3] L. Castro, "Científicos llaman a la acción inmediata para mitigar efectos de huracanes", La Vanguardia, <https://acortar.link/DtHOQd> (Consultado 29 mar 2023).

- [4] P. Inchausti, P. Romanos, M. Bartuen y B. Rossi, “Glaciar: software de visualización de datos de recursos hídricos y atmosféricos”, CAI, pp. 156-169, sept, 2019. Consultado: 29 mar 2023. [En línea]. Disponible: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/88111>
- [5] P. Chen, “Visualization of real-time monitoring datagraphic of urban environmental quality”, EURASIP J. Image Video Process, vol. 1, no. 42, pp. 1-9, feb 2019. Consultado: 29 mar 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1186/s13640-019-0443-6>
- [6] R. Vázquez, C. Pérez y J. Torres, “Exploratory data analysis through the integration of visualization techniques in Geographical Information Systems”, Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia, vol. 38, no. 1, pp. 73-82, abr, 2015. Consultado: 29 mar 2023. [En línea]. Disponible: <https://acortar.link/Glp7SD>
- [7] J. Camarillo, J. Alvarez, N. Limones, M. Pita y M. Aguilar, “Geovisualización de escenarios de cambio climático para Andalucía: diseño del geovisor cambia.climasig.es.”, AEC, vol.1, no. 10, pp. 430- 436, oct, 2016. Consultado: 29 mar 2023. doi: 10.14198/XCongresoAEC-Alicante2016-40. [En línea]. Disponible: <http://hdl.handle.net/10045/58009>
- [8] L. da Cunha, M. Silva, R. Cerqueira y A. Amendoeira, “The effect of long-term climatic variability on wild mammal populations in a tropical forest hotspot: A business intelligence framework”, Ecological Informatics, vol. 73, no. 1, pp. 1-13, sept, 2019. Consultado: 29 mar 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2022.101924>
- [9] F. Hernandez-Castro, J. Monge-Fallas, H. Hidalgo y E. Alfaro, “Visualization of 40 Years of Tropical Cyclone Positions and Their Rainfall Impacts in Central America”, Scientific Visualization, vol. 13, no. 5, pp 78-94, 2021. Consultado: 29 mar 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.26583/sv.13.5.07>
- [10] R. Walker, “Learning from Hurricanes: Big Data Analytics, Risk, & Data Visualization”, Big Data to Big Profits, <https://acortar.link/QCdgeN> (Consultado 29 mar, 2023)
- [11] S. Justice, “Visualizing Hurricane Data with Shiny”, Data Science Blog, <https://acortar.link/fmxMDn> (Consultado 29 mar, 2023)
- [12] L. Todd, E. Meriam, C. McCabe, R. Donihue y L. Winegar, “Using 3D data to understand hurricane patterns”, ArcGIS Blog, <https://acortar.link/XQTiAT> (Consultado 29 mar, 2023)
- [13] D. Pisut, “Analyze Patterns of Global Hurricane Data”, ArcGIS Blog, <https://acortar.link/bMWCAf> (Consultado 29 mar, 2023)
- [14] F. Hernández-Castro, “Dashboard design cookbook, metodología para el diseño de visualizaciones de datos”, Repositorio TEC, jul, 2021, Consultado 9 jun 2023. [En línea]. Disponible: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/13281>
- [15] National Oceanic and Atmospheric Administration, “Hurricane Database”, Hurricane Research Division, <https://acortar.link/zC1XdV> (Consultado 9 jun 2023)
- [16] National Oceanic and Atmospheric Administration, “Global Time Series”, Climate at a Glance Global Time Series, <https://acortar.link/Rodtq6> (Consultado 9 jun 2023)

- [17] F. Hernández-Castro, “Comparando lo incomparable”, Repositorio TEC, ago 2023, Consultado 9 jun 2023. [En línea]. Disponible: <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/14468>
- [18] F. Hernández-Castro y J. Monge-Fallas, “What for: Classification of Visual Paradigms”. Ponte: International Scientific Researches Journal, vol. 72, no. 7, pp. 46 - 64, jul, 2016. Consultado 9 jun 2023. [En línea]. Disponible: <https://acortar.link/6wc4bg>
- [19] Ergonomics of human-system interaction, ISO 9241-11, International Standard Organization, Suiza, 2018. [En línea]. Disponible: <https://www.sis.se/produkter/miljo-och-hal-soskydd-sakerhet/ergonomi/iso9241111998/>
- [20] A. Smyk, “La escala de usabilidad del sistema y cómo se usa en UX”, Xd Ideas, <https://xd.adobe.com/ideas/process/user-testing/sus-system-usability-scale-ux/> (Consultado 9 jun, 2023).
- [21] Common Industry Format for Usability Test Reports, ISO/IEC 25062, International Standard Organization, Suiza, 2006. [En línea]. Disponible: <https://webstore.iec.ch/publication/11255&preview=1>
- [22] J. Nielsen, “Quantitative studies: How many users to test”, Nielsen Norman Group, <https://www.nngroup.com/articles/quantitative-studies-how-many-users/> (Consultado 9 jun, 2023).