

Modelos estadísticos no paramétricos en los libros de texto del nivel universitario

Non-parametric statistical models in university-level textbooks

Víctor Miguel Ángel Burbano-Pantoja¹

Margoth Adriana Valdivieso-Miranda²

Ángela Saray Burbano-Valdivieso³

Recibido: mayo 16 de 2022

Aceptado: junio 28 de 2022

Resumen

Actualmente, la inferencia estadística se constituye en un elemento clave para aplicar el método científico experimental. Sin embargo, los libros de texto clásicos conceden un mayor peso a los métodos paramétricos, parcializando su uso en diversos ámbitos académico-investigativos. El objetivo de este trabajo de investigación se focalizó en indagar sobre el tratamiento otorgado por los textos universitarios al tema de los modelos estadísticos no paramétricos en lo referente a la prueba de hipótesis. La metodología incluyó técnicas de análisis de contenido aplicadas a 10 libros clásicos de estadística y 12 especializados en no paramétrica. Los resultados evidenciaron que, los libros de estadística clásicos usados en diferentes carreras universitarias tratan pocos contenidos sobre métodos no paramétricos y con diferente nivel de profundidad. Se concluye que, los libros de texto universitarios otorgan baja importancia al abordaje de los modelos no paramétricos, requeridos en una diversidad de prácticas investigativas.

Palabras clave: modelos no paramétricos, inferencia estadística, libros de texto, educación universitaria.

Abstract

Currently, statistical inference is a key element to apply the experimental scientific method. However, classic textbooks give a great importance to parametric methods, biasing their use in various academic-research fields. The objective of this research work is focused on the investigation of the treatment given by university texts to the subject of non-parametric statistical models in relation to hypothesis testing. The methodology includes content analysis techniques applied to 10 classic statistics books and 12 specialized in non-parametric statistics. The results showed that the classic statistics books used in different universities careers deal with little content on non-parametric methods and with different levels of depth. It is concluded that university textbooks give low importance to the approach of non-parametric models, required in a diversity of investigative practices.

Keywords: non-parametric models, statistical inference, textbooks, university education.

1 Licenciado en Matemáticas, Doctor en Ciencias de la Educación, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia. E-mail: victor.burbano@uptc.edu.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3561-1886>

2 Licenciada en Matemáticas, Magíster en Ciencias – Estadística, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia. E-mail: margoth.valdivieso@uptc.edu.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-3617-928X>

3 Bióloga, Estudiante de Maestría en Ciencias – Biología, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia. E-mail: angela.burbano@uptc.edu.co

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-1392-1306>

1. Introducción

A lo largo de la historia, la estadística se ha consolidado como una herramienta de tipo conceptual que paulatinamente fue aplicada en el ámbito del método científico para producir nuevo conocimiento (Burbano et al., 2021). Al principio, la estadística fue asumida por el Estado y destinada a la recolección, descripción y procesamiento de información relacionada con el cobro de impuestos, conteo de personas, ganado y objetos comercializables, administración de bienes y control de la natalidad, entre otros (Veloso et al., 2021). A inicios del siglo XX, con base en la axiomatización de la probabilidad, surgieron y se consolidaron procesos inferenciales que dieron vigor a la aplicación del método científico, gracias a los trabajos de Neyman, Pearson y Fisher (Benjamin et al., 2018). En este contexto, la estadística descriptiva que había sido considerada solamente como un conjunto de técnicas destinadas a soportar el método científico, empezó a fortalecerse al fundamentarse en variables aleatorias y distribuciones de probabilidad para hacer inferencias sobre los parámetros referidos a una población, a través de la comprobación de hipótesis y la obtención de conclusiones generalizables a toda la población objeto de indagación (Barrios et al., 2022).

Puesto que, en la actualidad, la inferencia estadística juega un papel fundamental para el método científico experimental (Begué et al., 2019), y la estadística como tal se ha consolidado como la 'ciencia de los datos' (Sánchez, & Ruíz, 2018), tanto los científicos como los profesores han recomendado su inclusión y abordaje dentro del currículo ofrecido en distintas carreras (titulaciones) a nivel universitario, con el fin de que el estudiantado soporte sus procesos de investigación ya sea durante el periodo de su formación o en el ejercicio de su profesión (Aranzubía et al., 2021). Los procesos inferenciales pueden desarrollarse a través del uso de métodos cuantitativos de corte paramétrico o acudiendo a la utilización de modelos estadísticos de tipo no paramétrico (Delicado, 2008). De manera formal, la inferencia esta-

dística paramétrica se focaliza en realizar procesos tendientes a estimar los parámetros de una población de interés y a testear hipótesis, con base en los datos de una o más muestras aleatorias seleccionadas de una población con una distribución de probabilidad F , la cual debe cumplir supuestos específicos en los referentes a su forma y apuntamiento (Barrantes, 2019).

No obstante, en un considerable número de situaciones, los supuestos de la distribución muestral F no se tienen y resulta pertinente usar modelos estadísticos no paramétricos para la prueba de hipótesis. Con tales modelos se pueden asumir supuestos más flexibles y utilizar estadísticas de prueba construidas con base en los rangos de las observaciones de la muestra (Corzo, 2005). Los métodos no paramétricos se constituyen en técnicas fáciles de implementar en diversos campos de la investigación científica, como las ciencias de la conducta, sociales y humanas (Siegel, 1970). Lo anterior sin descartar su aplicación en el ámbito de las ciencias naturales y las ingenierías, en tanto que, los procesos de inferencia involucran pruebas libres de distribución sin tener que trabajar directamente con los datos de la variable por investigar en una, dos o más muestras, sino a través de sus correspondientes rangos (Lehmann., & D'Abbrera, 1975). Una problemática diagnosticada en diversas investigaciones consiste en la utilización inadecuada de las estadísticas de prueba, este problema puede atribuirse al poco conocimiento de la estadística inferencial por parte del investigador, al bajo dominio de las metodologías de investigación o a la falta de pericia en el testeo de hipótesis mediante un software estadístico pertinente (Ríos., & Peña, 2020), sin descartar la ausencia o el bajo tratamiento de los métodos no paramétricos en los libros de texto (Sánchez & Ruíz, 2018).

Con frecuencia, en diversos trabajos investigativos se usan métodos estadísticos paramétricos (Pineda & Londoño, 2018; Pardo et al., 2022; Restrepo et al., 2022; Trejos et al., 2021). Además, los libros de texto de estadística para el nivel universitario se han diseñado para

abordar una miscelánea de tópicos referidos principalmente a la estadística descriptiva, probabilidad clásica, distribuciones de probabilidad, estadística inferencial paramétrica, modelos de regresión lineal, control de calidad y elementos de diseños experimentales, entre otros. Lo anterior, otorgando menos oportunidad de socializar contenidos asociados con los modelos estadísticos no paramétricos de modo tal que, se focalicen en la exposición tanto de aspectos teóricos como de situaciones en las cuales se puedan aplicar tales modelos, como es el caso de las ciencias sociales, humanas y naturales (Ríos & Peña, 2020), donde se requieren métodos cuantitativos y cualitativos alternativos a la inferencia paramétrica. Luego, la pregunta que orientó este trabajo investigativo fue ¿Cuál es el tratamiento otorgado en los textos universitarios al tema de los modelos estadísticos no paramétricos referidos a la prueba de hipótesis?

Para mitigar esta problemática, desde el Grupo Interdisciplinario en Ciencias (GICI), avalado por la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), se ha decidido indagar sobre cómo el tema de los métodos estadísticos no paramétricos es expuesto en algunos libros de texto clásicos y especializados direccionados al nivel universitario. Asimismo, como resultado de una revisión de literatura en torno al tema, proponer algunas alternativas de solución que permitan involucrar más directamente tanto al profesorado como al estudiantado en el uso de estos métodos, para potenciar la investigación científica y formativa en las diferentes carreras universitarias. Según Berlanga y Rubio (2012), con frecuencia un gran número de investigadores se enfrenta al dilema de seleccionar un estadístico de prueba pertinente para testear sus hipótesis, cuando la literatura reporta la existencia de estadísticas tanto paramétricas como no paramétricas. Además, resulta conveniente transitar de los métodos tradicionales (Burbano et al., 2017), hacia procesos de indagación que potencien el pensamiento estadístico desde la investigación empírica (Wild & Pfannkuch, 1999).

2. Metodología

En este trabajo se asumió un enfoque mixto con prevalencia de métodos cualitativos (Hernández & Mendoza, 2018). Esta metodología incluyó técnicas asociadas con el análisis de contenido (Bardín, 1986), y relacionadas con el análisis textual (Strauss & Corbin, 1998). El análisis de contenido posibilitó la emergencia de algunas categorías y subcategorías, en referencia al abordaje que se hace de los modelos no paramétricos en los libros de estadística para el nivel universitario. Estas técnicas posibilitaron la revisión tanto de libros clásicos de estadística como especializados en no paramétrica. Además, proveyeron de elementos conceptuales para realizar una codificación axial y selectiva de la información referida a los libros de texto universitarios y a la implementación del análisis de los datos textuales.

El grupo de textos clásicos incluyó un conjunto de 10 libros seleccionados mediante un muestreo por conveniencia, en tanto que el investigador principal y sus colaboradores han tenido contacto frecuente con aquellos durante su ejercicio docente en diversas carreras universitarias, en el ámbito de las ciencias naturales, sociales y humanas. Igualmente, el conjunto de 12 libros especializados fue determinado a criterio, en el sentido que se han constituido en libros de consulta para desarrollar proyectos de investigación que han involucrado el uso de métodos no paramétricos para resolver problemas de diversa índole o fueron utilizados durante su formación profesional, a nivel de pregrado y posgrado, en el entorno de la UPTC, el contexto local y nacional (ver Tabla 1). Además, se consideraron algunos textos provenientes de fuentes digitales como internet y bases de datos institucionales. Los instrumentos usados para recoger las principales características de los libros objeto de estudio fueron una rejilla de observación y un diario de campo, donde cada investigador llevaba un registro detallado de los métodos no paramétricos incluidos en cada texto, la clase de tópicos abordados y las situaciones de aplicación asumidas en contextos reales.

Tabla 1. Textos clásicos y libros de estadística especializados considerados en la muestra.

Autor(es)	Año	Título	Editorial
Burbano & Valdivieso	2016	Inferencia Estadística Básica: apoyo al estudio independiente	UPTC
Lind, Marchal & Wathen	2015	Statistical Techniques In Business & Economics: Econ 209	McGraw-Hill
Daniel	2009	Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias, salud	Limusa
Freund & Miller	2000	Estadística matemática con aplicaciones	Prentice Hall
Canavos	1988	Probabilidad y Estadística. Aplicaciones y métodos	McGraw Hill
Anderson Sweeney & Williams	2012	Estadística para Negocios y Economía	Cengage Lear
Devore	2012	Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias	Cengage Lear
Montgomery & Runger	2012	Probabilidad y Estadística Aplicadas a la Ingeniería	Limusa-Wiley
Newbold, Carlson & Thorne	2008	Estadística para administración y economía	Prentice Hall
Walpole, Myers & Myers	2012	Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias	Pearson Educación
Siegel	1970	Diseño experimental no paramétrico aplicado a las ciencias de la conducta	Trillas
Lehmann & D'Abrera	1975	Nonparametrics: statistical methods based on ranks	Holden-day
Randles & Wolfe	1979	Introduction to the Theory of nonparametric Statistics	John Wiley
Hettmansperger	1984	Statistical Inference Based on Ranks	John Willey
Manoukian	1986	Mathematical Nonparametric Statistics	Gordon Breach Science Publish
Corzo	2005	Estadística no paramétrica: Métodos basados en rangos.	UN
Hájek, Sidak & Sen	1999	Theory of Ranks tests	Academic Press
Lehmann & Casella	2001	Theory of Point of Estimation	Springer
Pérez	2005	Técnicas estadísticas con SPSS 12: Aplicaciones al análisis de datos	Pearson, Prentice Hall
Wasserman	2006	All of Nonparametric Statistics	Springer
Delicado	2008	Curso de modelos no paramétricos	Universidad de Catalunya
Marshall & Olkin	2007	Life Distribution.	Springer

En referencia a los procedimientos asociados con la inferencia, de acuerdo con Begué et al. (2019), los procesos relacionados con la prueba de hipótesis desde un punto de vista paramétrico fueron elaborados por Fisher y tenían por objeto apoyar o rechazar una hipótesis conservadora (nula), formulada en términos de un parámetro

poblacional con base en los datos aportados por una muestra aleatoria. Para esto es necesario construir una región crítica o de rechazo de la hipótesis nula: con base en un estimador relacionado con la distribución de probabilidad de la población muestreada, se decide si se rechaza tal hipótesis cuando el valor de la estadística

de prueba o su P-valor sea inferior a un nivel de significancia α establecido con anterioridad. Esta α corresponde a la probabilidad de rechazar dicha hipótesis dado que es verdadera. Desde una mirada no paramétrica, Friedman, Wilcoxon, Mann-Whitney, entre otros, generaron procedimientos semejantes para la prueba de hipótesis con estadísticas basadas en rangos y libres de distribución, originándose diversos modelos estadísticos no paramétricos, conocidos como métodos clásicos no paramétricos (Delicado, 2008).

El procesamiento de la información textual se efectuó de forma manual: en primera instancia se generaron las categorías iniciales que paulatinamente fueron enriquecidas. Luego, con base en los registros provenientes del diario de campo y la rejilla de observación, se establecieron las subcategorías producto de la codificación implementada que incluyeron descripciones e interpretaciones sobre los principales hallazgos. Posteriormente, se construyeron matrices categoriales con la ayuda del software Nvivo 12 en su versión de prueba y se triangularon las fuentes de información con los instrumentos

utilizados en la recogida de información, en el sentido expuesto en Burbano y Valdivieso (2021). Estos aspectos permitieron incrementar tanto los niveles de validez como de confiabilidad de este trabajo investigativo. Mediante el análisis textual elaborado a través del análisis de contenido (Bardín, 1986), se estructuraron tres categorías codificadas así: C1: métodos no paramétricos clásicos, C2: métodos no paramétricos clásicos en los libros de texto universitarios clásicos, C3: Modelos estadísticos no paramétricos en los libros de estadística especializados.

Los métodos no paramétricos clásicos se constituyen en la unidad de análisis sobre los textos universitarios considerados como muestra. Para la categoría C1 emergieron cuatro sub-categorías codificadas como C11, C12, C13 y C14, las cuales, en concordancia con Ríos y Peña (2020) y Lehmann y D'Abbrera (1975), hacen referencia a los métodos no paramétricos clásicos para la prueba de hipótesis con base en una muestra, dos muestras y tres o más muestras (ver Tabla 2).

Tabla 2. Primera categoría resultante del análisis textual.

C1: Métodos no paramétricos clásicos
C11: Pruebas no paramétricas usuales para una muestra
C12: Pruebas no paramétricas para dos muestras
C13: Pruebas no paramétricas para tres o más muestras
C14: Otras pruebas no paramétricas

La indagación sobre diversas fuentes documentales permitió establecer la existencia de pruebas no paramétricas usuales para una muestra (C11) como las siguientes: Prueba binomial (C111), Chi-cuadrado (C112), de rachas (C113), K-S de Kolmogorov-Smirnov (C114), entre otras, también denominadas como pruebas no paramétricas clásicas para una muestra. Asimismo, se evidenció la existencia de pruebas no paramétricas basadas en dos muestras independientes como las que se mencionan en seguida: Mann-Whitney (C121), Moses (C122),

rachas de Wald-Wolfowitz (C123), Kolmogorov-Smirnov (C124); pruebas no paramétricas para muestras por parejas (antes-después): prueba de McNemar (C125), del signo (C126), del rango signado de Wilcoxon (C127). Además, se ha determinado que varias pruebas no paramétricas se basan en tres o más muestras no pareadas, tales como: la de Kruskal-Wallis (C131), de la mediana (C132), Jonckheere-Terpstra (C133), y para tres o más muestras pareadas son susceptible de utilizarse: la prueba de Friedman (C134), W-Kendal (C135), Q-Cochran (C136).

También se evidenció que existen otras pruebas no paramétricas como: la chi-cuadrado para independencia (C141), el coeficiente de correlación de Spearman (C142). Las pruebas mencionadas se caracterizan por incluir estadísticas de prueba libres de distribución (Delgado, 2008), estar definidas a través de los rangos de las observaciones (datos) correspondientes a una o más variables de interés y ser robustas (Corzo, 2005). En este contexto, la selección de una prueba no paramétrica ha de estar sujeta al tipo de diseño de investigación, ya sea cuasi-experimental o de tipo experimental, al número de variables intervinientes y a la escala de medición (Ríos, & Peña, 2020). Algunos modelos solamente exigen que sus datos se hayan medido en una escala nominal, por ejemplo, la prueba binomial, pero en su mayoría estas pruebas exigen que los datos sean medidos en una escala ordinal, por ejemplo los puntajes de un sin número de test psicológicos, en escala de intervalo o de razón: de allí su versatilidad para ser utilizadas en diversos ámbitos de investigación como las ciencias de la conducta, sociales y humanas, ciencias naturales e ingenierías, entre otras, (Siegel, 1970; Lehmann & D’Abrera, 1975;

Canavos, 1988; Freund & Miller, 2000; Lind et al., 2015; Ríos & Peña, 2020).

3. Resultados y discusión

En esta sección se presentan los hallazgos referidos al abordaje de los métodos no paramétricos clásicos en los libros de texto universitarios clásicos (C2) observando la presencia de las sub-categorías indicadas en C1, contemplando tanto los textos usados en la UPTC como en otras universidades. También se explicitan los resultados asociados con la categoría C3, referidos a los modelos estadísticos no paramétricos en los libros de estadística especializados.

3.1 Hallazgos referidos a la categoría C2

Con base en los registros de información consignados tanto en el diario de campo como en la rejilla de observación y mediante codificación axial y selectiva (Strauss & Corbin, 1998), en la categoría C2 se estructuraron dos sub-categorías codificadas como C21 y C22 (ver Tabla 3).

Tabla 3. Segunda categoría resultante del análisis textual.

C2: Métodos no paramétricos clásicos en libros de texto universitarios clásicos
C21: Libros de texto usados en la UPTC en diversas carreras universitarias
C22: Libros de texto usados en otras universidades

En la sub-categoría de los libros de texto usados en la UPTC (C21) para orientar el aprendizaje de la estadística en diversas carreras de la mencionada universidad, se incluyeron los cinco siguientes textos (ver Tabla 4): Burbano y Valdivieso (2016), Lind *et al.* (2015), Daniel (2008), Freund y Miller (2000), y Canavos (1988). Estos textos se utilizan frecuentemente en las carreras de matemáticas, ingenierías, admi-

nistración de empresas, economía, biología, química, ciencias naturales, entre otras. En la UPTC también se recurre al uso de otros textos, los cuales son utilizados en otras universidades del país y del extranjero, como: México, España, Chile y Brasil, entre los que se incluyen: Anderson et al. (2012), Newbold *et al.* (2008), Devore (2012), Montgomery y Runger (2012), Walpole *et al.* (2012).

Tabla 4. Métodos no paramétricos en libros de texto universitarios clásicos.

C21: Libros clásicos UPTC	C111	C112	C113	C112	C121	C122	C123	C124
Burbano y Valdivieso (2016)								
Lind et al. (2015)	X	X			X			
Daniel (2008)	X			X	X			
Freund y Miller (2000)	X	X	X		X			
Canavos (1988)	X	X		X	X		X	

Con base en la Tabla 4, se establece que los libros de texto clásicos en referencia al testeo de hipótesis para una muestra, un 80% de ellos incluyen la prueba basada en la distribución binomial aunque algunos textos la abordan de manera tangencial, un 60% usan la prueba chi-cuadrado para una muestra, el 20% incluye la prueba de rachas y el 40% ejemplifica la prueba K-S. Para

dos muestras independientes, los hallazgos evidenciaron que el 80% de los libros de texto clásicos abordan la prueba de Mann-Whitney; el 20% incluye la prueba de rachas de Wald-Wofowitz. Sin embargo, ninguno de los cinco textos analizados contiene las pruebas de Moses o la prueba K-S para dos muestras.

Tabla 5. Métodos no paramétricos en libros de texto universitarios clásicos, otras pruebas.

C21: Libros clásicos UPTC	C125	C126	C127	C131	C132	C133	C134	C135	C136
Burbano y Valdivieso (2016)									
Lind et al. (2015)		X	X	X	X		X		
Daniel (2008)		X	X	X	X		X		
Freund y Miller (2000)		X	X	X	X		X		
Canavos (1988)		X	X	X	X		X		

En la Tabla 5 se determina que los libros de texto clásicos en cuanto a la prueba de hipótesis para dos muestras pareadas, un 80% de éstos incluye la prueba del signo y la prueba del rango signado de Wilcoxon, pero ninguno de los cinco textos contiene la prueba de McNemar. Los hallazgos también evidenciaron que, para tres o más muestras no dependientes, el 80% de los libros de texto clásicos si abordan la prueba de Kruskal-Wallis y de la mediana; no obstante, ninguno de los cinco textos analizados contiene la prueba de Jonckheere-Terpstra. Los procesos de indagación también evidenciaron que, para tres o más muestras relacionadas (pareadas) el 80% de los textos clásicos si abordan la prueba de Friedman, pero

ninguno de los cinco textos analizados expone las pruebas referidas a la W-Kendall y Q-Cochran. Es conveniente mencionar que el 100% de los libros considerados en la muestra abordan elementos de estadística descriptiva, probabilidad e inferencias de estadística paramétrica, entre otros. Asimismo, el 80% hace un despliegue con diferentes niveles de atención a los métodos no paramétricos, el 40% incluye dos capítulos de tópicos de estadística no paramétrica, otro 40% solo incluye un capítulo y el 20% no aborda los modelos no paramétricos. El 80% de los textos si abordan las pruebas no paramétricas sobre la chi-cuadrado para independencia y el coeficiente de correlación de Spearman.

Tabla 6. Métodos no paramétricos en libros de texto usados en otras universidades.

C22: Libros otras universid.	C111	C112	C113	C112	C121	C122	C123	C124
Anderson <i>et al.</i> (2012)		X			X			
Devore (2012)		X			X			
Montgomery <i>et al.</i> (2012)		X		X	X			
Newbold <i>et al.</i> (2008)		X			X			
Walpole <i>et al.</i> (2012)	X	X	X		X			

Los libros de texto de Anderson *et al.* (2012), y Newbold *et al.* (2008) se utilizan con frecuencia para orientar al estudiantado en las carreras de administración y economía, principalmente. Asimismo, Devore (2012), Montgomery y Runger (2012), Walpole *et al.* (2012) se emplean en las carreras de ciencias exactas, naturales, matemáticas e ingenierías tanto en Colombia como en otros países. En la Tabla 6 se determina que los libros de texto usados en universidades extranjeras en cuanto al testeo de hipótesis para una muestra, un 20% de éstos incluye la

prueba basada en la distribución binomial, un 100% usan la prueba chi-cuadrado para una muestra, el 20% incluye la prueba de rachas y el 20% exponen la prueba K-S. Para cuando se trabaja con dos muestras independientes, los resultados evidencian que el 100% de los libros de texto clásicos sí abordan la prueba de Mann-Whitney; no obstante, estos textos no abordan la prueba de rachas de Wald-Wofowitz, tampoco la prueba de Moses o la prueba K-S para dos muestras.

Tabla 7. Métodos no paramétricos en libros de texto usados en otras universidades, otras subcategorías.

C22: Libros otras universid.	C125	C126	C127	C131	C132	C133	C134	C135	C136
Anderson <i>et al.</i> (2012)		X	X	X					
Devore (2012)		X	X	X					
Montgomery <i>et al.</i> (2012)		X	X	X	X		X		
Newbold <i>et al.</i> (2008)		X	X	X	X		X		
Walpole <i>et al.</i> (2012)		X	X	X			X		

Con base en la Tabla 7, se observa que los libros de texto universitarios usados en otras universidades en lo referente a la prueba de hipótesis para dos muestras pareadas, el 100% de éstos incluye la prueba del signo y la prueba del rango signado de Wilcoxon, pero ninguno de los cinco textos contiene la prueba de McNemar. Los hallazgos también indicaron que, para tres o más muestras independientes, el 100% de los libros

de texto si abordan la prueba de Kruskal-Wallis, un 40% incluye la prueba de la mediana; sin embargo, ninguno de los cinco textos analizados contempla la prueba de Jonckheere-Terpstra. Los procesos de investigación documental también mostraron que, para tres o más muestras pareadas (relacionadas), el 60% de los textos clásicos si abordan la prueba de Friedman, pero ninguno de los cinco textos explorados expone las

pruebas W-Kendall y Q-Cochran. Es pertinente indicar que el 100% de los libros considerados en la muestra abordan elementos de estadística descriptiva, probabilidad e inferencias estadística paramétrica, entre otros. Además, el 90% hace una exposición con distintos niveles de profundidad sobre los métodos no paramétricos, el 20% incluye dos capítulos de tópicos de estadística no paramétrica, otro 40% solo incluye un capítulo y el 40% también incluye pruebas de bondad de ajuste con modelos no paramétricos. En un 80% los textos analizados si exponen las pruebas no paramétricas sobre el coeficiente de correlación de Spearman y la prueba chi-cuadrado para independencia. Además, en el libro de Montgomery se plantean ejercicios para el desarrollo del intelecto estudiantil. Así entonces, se establece que uno de los textos analizados (10% de la muestra) no aborda tópicos de estadística no paramétrica y se focaliza totalmente en las pruebas paramé-

tricas, el 70% de los textos incluye algunas de las pruebas no paramétricas y el 20% restante, las aborda casi todas.

3.2 Hallazgos focalizados en la categoría C3

Con base en la rejilla de observación, se estableció que en la categoría C3 hacían presencia los modelos estadísticos no paramétricos codificados en seis sub-categorías, así: C31 abordaje completo de los métodos no paramétricos clásicos, C32: métodos no paramétricos clásicos acompañados de software para procesamiento de datos, C33 tratamiento teórico de modelos no paramétricos, C34 métodos no paramétricos con ejemplos y ejercicios, C35 soporte matemático de los modelos no paramétricos, y C36 modelos semi-paramétricos y otros tópicos (ver Tabla 8).

Tabla 8. Modelos estadísticos no paramétricos en los libros de estadística especializados.

C3: Libros especializados	C31	C32	C33	C34	C35	C36
Siegel (1970)	X		X	X		
Lehmann y D'Abrera (1975)	X		X	X	X	
Randles y Wolfe (1979)	X		X	X	X	
Hettmansperger (1984)	X		X	X	X	
Manoukian (1986)	X		X	X	X	
Corzo (2005)	X		X	X	X	
Hájek et al. (1999)	X		X	X	X	
Lehmann y Casella (2001)			X	X	X	X
Pérez (2005)	X	X	X	X	X	
Wasserman (2006)	X		X	X	X	X
Delicado (2008)	X	X	X	X	X	X
Marshall & Olkin (2007)			X	X	X	X

Con base en la Tabla 8 y el análisis de contenido, se establece que los modelos estadísticos no paramétricos clásicos son abordados de forma detallada y completa en los libros de estadística especializados, como el de Siegel (1970) y de Lehmann y D'Abrera (1975). De la rejilla de observación, se establece que estos

textos han incluido diversas situaciones aplicables en el ámbito de la investigación formativa y científica al trabajar con una, dos o más muestras, también se han abordado la mayoría de las pruebas mencionadas en la categoría C1. En Pérez (2005), se presenta un considerable despliegue sobre modelos estadísticos no

paramétricos con procesamiento de datos y análisis de los mismos a través del software estadístico SPSS. Con base en el diario de campo fue posible determinar que otros textos especializados se focalizan en el tratamiento teórico de los modelos no paramétricos clásicos, entre ellos están el de Randles y Wolfe (1979), Hettmansperger (1984), Manoukian (1986) y Corzo (2005). En dichos textos también se ofrecen ejemplos y ejercicios con diferentes niveles de profundidad, los cuales pueden utilizarse para generar tópicos factibles de usarse en el campo investigativo de la estadística o de las ciencias aplicadas.

El análisis de contenido también evidenció que en los libros especializados de Hájek et al. (1999), Lehmann y Casella (2001), Wasserman (2006) y Delicado (2008), se elabora un tratamiento matemático de los métodos no paramétricos clásicos en sus primeros capítulos pero en los subsiguientes se exponen contenidos de estadística no paramétrica desde una perspectiva moderna, incluyéndose desarrollos axiomáticos de las pruebas no paramétricas para una, dos, y k muestras, basadas en estadísticas libres de distribución definidas por medio de la teoría de rangos y estadísticas de puntajes, entre otros. En este sentido, las pruebas no paramétricas se basan en estadísticas que involucran a los rangos de las observaciones y no el manejo directo de los datos; estos aspectos facilitan su aplicación en el campo de las ciencias sociales, humanas y de la conducta, las ciencias naturales, las ingenierías, la administración, y la economía, solo por mencionar algunas. También se tratan algunos diseños experimentales no paramétricos y modelos de regresión no paramétrica. En este contexto, los niveles de abstracción pueden considerarse como muy altos, en algunos de ellos se recurre a la teoría de la medida y a la teoría de la decisión, de ahí que éstos textos pueden utilizarse para ofrecer clases a nivel de posgrado. Además, se aborda de forma amplia el problema de localización y escala, teoría de riesgos, modelos lineales, control de la calidad y optimización, solo por mencionar algunos.

Finalmente, en los textos de Wasserman (2006) y de Marshall & Olkin (2007), se hace un tratamiento profundo de la estadística no paramétrica, incluyéndose también tópicos sobre estadística semi-paramétrica, estimación de la función de densidad y de distribución de probabilidad mediante técnicas de kernels, suavizado, funcionales, funciones ortogonales, métodos adaptativos, wavelets, entre otros. También se evidenció que existe mucha más información adicional en torno a la estadística no paramétrica, la cual se encuentra prioritariamente en idioma inglés y requiere herramientas sofisticadas para explorar su contenido y sus diversos significados en el campo de la investigación científica.

3.3 Discusión

A través del trabajo desarrollado se ha logrado el objetivo de indagar acerca del tratamiento efectuado por los libros de texto del nivel universitario al amplio tema concerniente al abordaje de los modelos estadísticos no paramétricos, en cuanto al tópico de la prueba de hipótesis. El trabajo también ha permitido explorar de forma pormenorizada diferentes fuentes de información reportada por la literatura especializada y sistematizar los hallazgos mediante un conjunto de categorías y sub-categorías emergentes del análisis textual sobre el tema. En este sentido, las técnicas de análisis de contenido han sido un soporte metodológico para registrar en la rejilla de observación y el diario de campo un buen número de hallazgos. De acuerdo con Bardín (1986), este tipo de herramientas de investigación cualitativa soportan procesos de investigación científica en esta clase de estudios, generando altos niveles de validez y confiabilidad (Burbano et al., 2021).

La revisión de literatura ha permitido determinar que los libros de texto para el nivel universitario destinados a enseñar la estadística, han sido planificados entre un 80% y 90% para abordar diversos tópicos focalizados en la estadística descriptiva, la probabilidad desde diferentes concepciones (Burbano et al., 2017); distribuciones de probabilidad, inferencia estadística desde

una mirada paramétrica, modelos de regresión, control de calidad y diseño de experimentos, entre otros (Aranzubía *et al.*, 2021). Sin embargo, solamente entre un 10% y un 20% de los contenidos se destinan al tratamiento de los modelos estadísticos no paramétricos; según Delicado (2008), algunos de los métodos no paramétricos clásicos son los que se abordan con frecuencia en los libros de texto universitarios. No obstante, otros libros de texto pueden considerarse especializados en tanto que se focalizan en la exposición de aspectos teóricos y de situaciones en las cuales se puedan aplicar tales métodos, como es el caso de la investigación en las ciencias sociales, humanas y naturales, en un sentido semejante al expresado por Ríos y Peña (2020).

La exploración realizada ha permitido detectar que en los libros de texto clásicos se hace un tratamiento con diferente nivel de profundidad de algunas pruebas estadísticas no paramétricas, como: la del signo, la mediana, la del rango signado de Wilcoxon, de Mann-Whitney, Kruskal-Wallis, Friedman, Spearman, chi-cuadrado. No obstante, otras ni siquiera son consideradas pero que, según Berlanga y Rubio (2012), resultan de gran valor para desarrollar procesos investigativos en el campo de las ciencias sociales u otras, cuando las variables no cumplen los supuestos exigidos por los métodos no paramétricos. De acuerdo con Ríos y Peña (2020), en un proceso de inferencia es imperativo seleccionar apropiadamente las pruebas no paramétricas en correspondencia con la escala de medición de las variables y los supuestos inherentes; en caso contrario, el poco dominio de las metodologías de investigación pueden afectar directamente los procesos de investigación y las conclusiones obtenidas podrían estar viciadas. Lo anterior indica la necesidad de ampliar el horizonte cognitivo de los investigadores a través de la lectura comprensiva de textos pertinentes y especializados.

Los hallazgos de este trabajo han permitido evidenciar la existencia de dos grandes categorías de libros de texto: aquellos que con frecuencia

se utilizan en las aulas universitarias y están destinados a orientar el aprendizaje estudiantil en diversos tópicos de estadística, incluidas las pruebas no paramétricas clásicas en carreras como administración de empresas, economía, ciencias exactas, ingenierías, ciencias sociales y humanas (Colín, 2018). En general, estos textos abordan pruebas no paramétricas para una, dos y más muestras, con una variedad de ejemplos y ejercicios más de corte académico que de promoción de la investigación científica desde el aula, ni mucho menos con software estadístico pertinente (Pérez, 2005). La otra gran categoría la constituyen los libros especializados, los cuales abordan técnicas no paramétricas modernas que requieren altos niveles de conocimiento estadístico-probabilístico (Burbano *et al.*, 2017) y son recomendados para los estudiantes y profesionales dedicados al estudio de una carrera de estadística o para quienes estén dispuestos a la aplicación de la estadística matemática o aquellos que cursen materias de investigación científica a nivel de posgrado, que de acuerdo con Sánchez *et al.* (2018), pueden requerir de hiper-entornos de aprendizaje.

Los libros de texto analizados tienen diferentes formas de presentar los contenidos e incluyen distintas estrategias didácticas de socializar el conocimiento sobre los métodos no paramétricos. Algunos se caracterizan por implementar secuencias instruccionales que inician con los conceptos estadísticos, prosiguen con una fase de ejemplificación, otra de ejercitación y la aplicación en ejercicios académicos, en el sentido expuesto por Maturano y Mazzitelli (2018); otros como los libros especializados incluyen grandes cargas de formalismo, algoritmia y abstracción. Sin embargo, algunos se focalizan en los aspectos mencionados pero, además: generan situaciones problema para promover la investigación científica en el ámbito de las ciencias de la conducta (Siegel, 1970) o de la investigación científica (Lehmann & D'Abbrera, 1975) o la generación paulatina de competencias en investigación formativa y desarrollo del razonamiento estadístico, al seguir el ciclo expuesto por Wild y Pfannkuch (1999). En contraste, los métodos

paramétricos suelen usarse en distintos ámbitos científicos como lo sugieren Timarán *et al.* (2019).

Finalmente, los textos examinados son obras que tienen implícitos tanto aspectos disciplinares como didácticos, destinados a promover el aprendizaje estudiantil bajo las orientaciones del profesor universitario. Lo anterior guarda relación con lo expuesto por Salcedo *et al.* (2021), en el sentido que los textos son materiales que presentan fortalezas y debilidades al ser considerados como recursos didácticos en el aula, y aquellos textos que incluyen tópicos de estadística no paramétrica no son la excepción. Algunos textos se focalizan más en exponer contenidos que en transformar el saber sabio en saber para la enseñanza, como lo indica Thiara *et al.* (2022); mientras que otros como el de Lind *et al.* (2015), se centran en aplicar la estadística en general y los métodos no paramétricos en contextos específicos del desempeño laboral del futuro profesional. Sin importar el enfoque, los hallazgos reflejaron que en general los libros de texto universitario exponen contenidos de modelos no paramétricos, que pueden representar alrededor de un 15% del total de temáticas abordadas.

4. Conclusiones

Con base en el análisis textual y de contenido, se concluye que los libros de estadística clásicos utilizados en diversas carreras (titulaciones) universitarias abordan un porcentaje bajo de contenidos referidos a los métodos no paramétricos y los tratan con distintos niveles de profundidad. Además, los libros de texto universitarios otorgan un nivel bajo en el abordaje de los modelos no paramétricos requeridos en una diversidad de prácticas investigativas, tanto en los salones de clase universitarios como en el ejercicio profesional de los egresados.

Del análisis categorial también se ha determinado que existen ciertas pruebas estadísticas no paramétricas clásicas aplicables a una muestra, dos o más muestras, siempre y cuando no se cumplan algunos supuestos exigidos en las pruebas paramétricas. Adicionalmente, las prue-

bas no paramétricas se basan en estadísticas de prueba que involucran a los rangos de las observaciones antes que la manipulación directa de los datos; estos aspectos las hacen relativamente fáciles de aplicar en el campo de las ciencias sociales, humanas y de la conducta, las ciencias naturales, las ingenierías, la administración y la economía, entre otras.

En los libros de texto explorados se evidencia que con mayor frecuencia se recurre a la exposición y ejemplificación de la prueba del signo, mediana, del rango signado de Wilcoxon, de Mann-Whitney, Kruskal-Wallis, Friedman, Spearman y chi-cuadrado. Sin embargo, solamente en los libros de texto especializados se socializan todas las pruebas no paramétricas clásicas existentes, exponiendo diversos niveles de rigor matemático en su formalización y aplicación.

Finalmente, este estudio se centró en indagar sobre el tratamiento otorgado por los textos universitarios al tema de los modelos estadísticos no paramétricos en cuanto a la prueba de hipótesis; sin embargo, también es factible proyectar investigaciones focalizadas en: i) explorar cuánto y cómo el profesor universitario socializa y aplica los métodos no paramétricos dentro de los cursos de estadística inferencial que imparte para diferentes titulaciones; ii) explorar sobre cuáles libros de texto de estadística utiliza el profesor universitario en sus clases, incluyendo su valor didáctico; iii) diseñar clases interactivas y materiales, tanto físicos como digitales, para dinamizar el uso de los métodos no paramétricos clásicos en contextos académicos e investigativos en diversas áreas del saber.

Agradecimientos

Este artículo se desprende del proyecto SGI-1748, avalado por la DIN-VIE de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC). El proyecto se desarrolló dentro del Grupo de Investigación Interdisciplinario en Ciencias (GICI), de la UPTC.

Referencias

- Anderson, D., Sweeney, D., & Williams, T. (2012). *Estadística para Negocios y Economía*. Cengage Learning.
- Aranzubía, S., Ruíz, B. R., Vásquez, L., Albert, J. A., & Cortínez, Á. (2021). El problema de la transparencia didáctica del parámetro en los textos de estadística. *Interciencia*, 46 (11), 416-422.
- Bardín, L. (1986). El análisis de contenido. Editorial Akal
- Barrantes, A. L. (2019). Diferencias en la estimación del coeficiente de curtosis en diferentes softwares estadísticos. *Revista E-Agronegocios*, 5 (2), 1-14. <https://doi.org/10.18845/rea.v5i2.4456>.
- Barrios, Y. D., Guerrero, Z. E., Zambrano, D. F., & Ponce, H. X. (2022). Análisis estadístico cuando no se cumplen los supuestos de las pruebas paramétricas, en el contexto de la investigación de la Cultura Física. *Universidad y Sociedad*, 14(1), 591-600.
- Begué, N., Batanero, C., Ruiz, K., & Gea, M. M. (2019). Understanding sampling: A summary of the research. *Boletín de Estadística e Investigación Operativa-BEIO*, 35(1), 49-78.
- Benjamin, D. J., Berger, J. O., Johannesson, M., Nosek, B. A., Wagenmakers, E. J., Berk, R., ... & Johnson, V. E. (2018). Redefine statistical significance. *Nature Human Behaviour*, 2 (1), 6-10.
- Berlanga, V., & Rubio, M. J. (2012). Clasificación de pruebas no paramétricas. Cómo aplicarlas en SPSS. *REIRE: Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, 5 (2), 101-113.
- Burbano, V. M. A., & Valdivieso, M. (2016). Inferencia Estadística Básica: apoyo al estudio independiente. Editorial UPTC.
- Burbano, V., Valdivieso, M., & Aldana, E. (2017). Conocimiento base para la enseñanza: Un marco aplicable a la didáctica de la probabilidad. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 7 (2), 269- 285. <https://doi.org/10.19053/20278306.v7.n2.2017.6070>
- Burbano, V., & Valdivieso, M. (2021). Modelo del Pedagogical content Knowledge aplicado en probabilidad para la educación media. *Educación y Humanismo*, 23 (41), 234-253.
- Burbano, V., Valdivieso, M., & Burbano, A. (2021). El pensamiento aleatorio y los sistemas de datos en los libros de texto: situaciones alternativas de investigación formativa. Editorial UPTC.
- Canavos, G. (1988). Probabilidad y Estadística. Aplicaciones y métodos. McGraw Hill.
- Colín, C. A. N. (2018). Análisis de varianza no paramétrica: un punto de vista a favor para utilizarla. *Acta Agrícola y Pecuaria*, 4 (3), 69-79.
- Corzo, J. A. (2005). Estadística no paramétrica: Métodos basados en rangos. Editorial UN - Universidad Nacional de Colombia.
- Daniel, W. (2008). Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud. Limusa.
- Delicado, P. (2008). Curso de modelos no paramétricos. Departament d'Estadística i Investigació Operativa, Universitat Politècnica de Catalunya.
- Devore, J. L. (2012). Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias. Cengage Learning Editors.
- Freund, J., & Miller, I. (2000). Estadística matemática con aplicaciones. Prentice Hall
- Hájek, J., Sidak, Z., & Sen, P. (1999). Theory of Ranks tests. Academic Press
- Hernández, S., & Mendoza, C. (2018). Metodología de la Investigación. Las rutas cualitativa, cuantitativa y mixta. McGraw Hill Education
- Hettmansperger, T. P. (1984). Statistical Inference Based on Ranks. John Wiley & Sons
- Lehmann, E. L., & D'Abbrera, H. J. (1975). Nonparametrics: statistical methods based on ranks. Editorial Holden-day.
- Lehmann, E. L., & Casella, G. (2001). Theory of Point of Estimation. Springer.
- Lind, D. A., Marchal, W. G., & Wathen, S. A. (2015). Statistical Techniques In Business & Economics: Econ 209. McGraw-Hill Education.
- Manoukian, E. B. (1986). Mathematical Nonparametric Statistics. Gordon and Breach Science Publishers.
- Maturano, C., & Mazzitelli, C. (2018). Libros de texto de ciencias naturales, de ayer, de hoy y, ¿ de siempre?. *Revista de Enseñanza de la Física*, 30 (1), 49-62.
- Marshall, A. W., & Olkin, I. (2007). Life Distributions. Springer.
- Montgomery, D., & Runger, G. (2012). Probabilidad y Estadística Aplicadas a la Ingeniería. Limusa-Wiley.

- Newbold, P., Carlson, W., & Thorne, B. (2008). *Estadística para administración y economía*. Prentice Hall.
- Pardo, Y. Y., Andrade, M. C., & Correa, I. (2022). Hacia una formación investigativa en el programa de administración de empresas de la universidad de la Amazonia (2021-2028), Caquetá-Colombia. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 12 (1), 45-56. <https://doi.org/10.19053/20278306.v12.n1.2022.14206>
- Pérez, C. (2005). *Técnicas estadísticas con SPSS 12: Aplicaciones al análisis de datos*. Pearson, Prentice Hall.
- Pineda, E. F., & Londoño, J. (2018). Clasificación de los mejores programas de pregrado de Administración en Colombia según criterios de investigación: periodo 2016-2017. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 9 (1), 47-62. <https://doi.org/10.19053/20278306.v9.n1.2018.8506>
- Randles, R., & Wolfe, D. (1979). *Introduction to the Theory of nonparametric Statistics*. John Wiley & sons.
- Restrepo, M. J., Tocarruncho, L. X., & Ortiz, M. C. (2022). Consumo responsable en estudiantes de pregrado de tres universidades públicas en Bogotá, Colombia. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 12 (1), 7-20. <https://doi.org/10.19053/20278306.v12.n1.2022.14201>
- Ríos, A. R., & Peña, A. M. P. (2020). Estadística inferencial. Elección de una prueba estadística no paramétrica en investigación científica. *Horizonte de la Ciencia*, 10 (19), 191-208.
- Salcedo, A., Pacheco, R. A. U., & Díaz-Levicoy, D. (2021). Ideas estadísticas fundamentales en libros de texto de matemáticas para la educación primaria en Nicaragua y Venezuela. *IE Revista de Investigación Educativa de la REDIECH*, 12, e1210.
- Sánchez, Y., García, Y., Lemus, Y., & Rivero, I. C. (2018). Hiperentorno de aprendizaje de Estadística no paramétrica. *Panorama Cuba y Salud*, 13 (S1), 204-207.
- Sánchez, N. A., & Ruiz, B. (2018). Elementos de inferencia informal presentes en libros de texto de matemáticas en el tema de estadística. Un estudio exploratorio. RECHIEM. *Revista Chilena de Educación Matemática*, 11 (1), 80-85.
- Siegel, S. (1970). *Diseño experimental no paramétrico aplicado a las ciencias de la conducta* (No. BF39 S5e). Editorial F. Trillas, S. A.
- Strauss, A., & Corbin, J. (1998). *Basics of qualitative research. Techniques and procedures for developing grounded theory*. Sage publications.
- Thiara, A. C., Batista, L., Oliveira, D., & Siqueira, M. (2022). Transposição didática: A Radiação do corpo negro nos livros didáticos do PNLD 2018. *Latin-American Journal of Physics Education*, 16(1), 8-18.
- Timarán, R., Caicedo, J., & Hidalgo, A. (2019). Árboles de decisión para predecir factores asociados al desempeño académico de estudiantes de bachillerato en las pruebas Saber 11. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 9 (2), 363-378. <https://doi.org/10.19053/20278306.v9.n2.2019.9184>
- Trejos, D. F., Duque, P. L., Montoya, L. A., & Montoya, I. A. (2021). Neuroeconomía: una revisión basada en técnicas de mapeo científico. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 11 (2), 243-260. <https://doi.org/10.19053/20278306.v11.n2.2021.12754>
- Veloso, A. D. L., García, L. I., & Marcuello, C. (2021). Estado y estadística. La importancia de los sistemas oficiales de estadística para las democracias modernas. *Revista Mexicana de Ciencias Políticas y Sociales*, 66 (243), 55-78. <http://dx.doi.org/10.22201/fcpys.2448492xe.2021.243.69278>
- Walpole, R., Myers, R., & Myers, S. (2012). *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias*. Pearson Educación.
- Wasserman, L. (2006). *All of Nonparametric Statistics*. Springer.
- Wild, C., & Pfannkuch, M. (1999). Statistical thinking in empirical enquiry. *International Statistical Review*, 67 (3), 223-265.