

Tipo de artículo: investigación

Uso del R como herramienta pedagógica: una revisión sistemática de literatura

Using R as a pedagogical tool: a systematic literature review

Usando o R como ferramenta pedagógica: uma revisão sistemática da literatura

Carlos Andrés Barco Rojas¹, José Fernando Muñoz Ospina²
& Luis Carlos Toro Marulanda³



Revista En Contexto
Tecnológico de Antioquia,
Colombia
ISSN: 2346-3279
E-ISSN: 2711-0044
Periodicidad: Semestral
Enero - Junio 2026
encontexto@tdea.edu.co



Doi:
10.53995/23463279.1882
Recibido: 12/03/2025
Aprobado: 30/07/2025

Cómo citar:

Barco Rojas, C., Muñoz Ospina, J. y Toro Marulanda, L. (2026).
Uso del R como herramienta
pedagógica: una revisión
sistemática de literatura. *Revista
En-Contexto*, 14(25) 231-255

Resumen: La eficacia sobre el uso pedagógico del software estadístico R para promover competencias en análisis de datos en diversos contextos educativos, se percibe como dispersa y poco sistematizada. Esto limita las posibilidades de entender el aporte del software R en la generación de competencias académicas en estudiantes de diferentes niveles de formación. El propósito de este artículo fue analizar la incidencia de R como herramienta pedagógica para la generación de competencias académicas en diferentes procesos de formación. Siguiendo la metodología PRISMA, se accedió a la literatura científica en la base de datos referencial Scopus. A partir de la definición y depuración de los términos de búsqueda se recuperaron 15 artículos científicos. Los datos fueron procesados mediante el paquete R bibliometrix. Los hallazgos evidencian que el

¹ Docente investigador de la Escuela Superior de Administración Pública (ESAP). Doctor en Educación Contacto: carlos.barco@esap.edu.co Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-6571-0172>

² Docente investigador de la Escuela Superior de Administración Pública (ESAP). Doctor en Desarrollo Sostenible. Contacto: jose.fmuno@esap.edu.co Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2318-5437>

³ Docente investigador de la Escuela Superior de Administración Pública (ESAP). Doctor en Administración. Contacto: luisc.toro@esap.edu.co Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8199-5526>

software R resulta ser una herramienta versátil para la formación académica en la actualidad y contribuye al desarrollo de capacidades analíticas en los estudiantes y profesionales formándolos para su incursión en el mercado laboral.

Palabras clave: Lenguaje R; Formación en análisis de datos; Didáctica de la estadística; Competencias analíticas; Revisión sistemática de literatura.

Abstract: The effectiveness of the pedagogical use of R statistical software to promote data analysis skills in various educational contexts is perceived as scattered and unsystematic. This limits the possibilities of understanding the contribution of R software in generating academic skills in students at different levels of education. The purpose of this article was to analyze the impact of R as a pedagogical tool for generating academic skills in different educational processes. Following the PRISMA methodology, the scientific literature was accessed in the Scopus reference database. Based on the definition and refinement of the search terms, 15 scientific articles were retrieved. The data were processed using the R bibliometrix package. The findings show that R software is a versatile tool for academic training today and contributes to the development of analytical skills in students and professionals, preparing them for their entry into the labor market.

Keywords: R language; Data analysis training; Statistics teaching; Analytical skills; Systematic literature review.

Resumo: A eficácia do uso pedagógico do software estatístico R para promover competências em análise de dados em diversos contextos educacionais é percebida como dispersa e pouco sistematizada. Isso limita as possibilidades de compreender a contribuição do software R na geração de competências acadêmicas em alunos de diferentes níveis de formação. O objetivo deste artigo foi analisar a incidência do R como ferramenta pedagógica para a geração de competências acadêmicas em diferentes processos de formação. Seguindo a metodologia PRISMA, acessou-se a literatura científica

na base de dados referencial Scopus. A partir da definição e depuração dos termos de pesquisa, foram recuperados 15 artigos científicos. Os dados foram processados através do pacote R bibliometrix. Os resultados evidenciam que o software R é uma ferramenta versátil para a formação acadêmica atual e contribui para o desenvolvimento de capacidades analíticas em estudantes e profissionais, preparando-os para sua incursão no mercado de trabalho.

Palavras-chave: Linguagem R; Formação em análise de dados; Didática da estatística; Competências analíticas; Revisão sistemática da literatura.

Códigos JEL: A2, C80, C88

Introducción

El presente artículo se deriva del proyecto de investigación denominado: Ciencia de datos para la Administración Pública, financiado por la Escuela Superior de Administración Pública de Colombia. Su construcción hace parte del debate académico sobre la importancia de la ciencia de datos en el proceso de formación de profesionales en gestión pública.

La ciencia de datos está compuesta por principios, algoritmos y problemas con el propósito de extraer y analizar patrones de grandes volúmenes de datos (Kelleher y Tierney, 2018). En las últimas décadas, se ha convertido en un enfoque emergente para el proceso de obtención y procesamiento de información en el contexto de múltiples disciplinas y profesiones académicas (Lemus-Delgado y Pérez Navarro, 2020), entre las que se incluye, por su naturaleza y responsabilidad, la Administración Pública.

En el sector público los datos son un poderoso instrumento para la toma de decisiones. Esto implica el uso de diferentes procesos, herramientas y metodologías que permitan convertir los datos en información relevante o de valor (Función Pública, 2022); es decir, los procesos de toma de decisiones en el sector público implican la generación de datos confiables y, consecuentemente, de procesos técnicos y/o estructurados que conlleven al entendimiento adecuado de realidades sociales sobre las cuales se promueve la toma de decisiones oportunas (Redondo et al., 2021). En el proceso de comprensión de problemas sociales complejos las técnicas analíticas de la ciencia de datos contribuyen a la definición de líneas de intervención y a la materialización de resultados de calidad en las administraciones públicas (Giest, 2017).

En razón a lo anterior, la formación en ciencia de datos se hace necesaria para enfrentar los desafíos emergentes en la era de los macrodatos y para convertir los datos en conocimiento útil que, a su vez, sirva para resolver problemas antes no resueltos (Song y Zhu, 2016). Esto implica cerrar las brechas de conocimiento y de métodos entre los datos, la tecnología y las personas, con el interés de que las personas indicadas utilicen las herramientas adecuadas para solucionar problemas y desafíos que la era del Big Data genera a la sociedad (Song y Zhu, 2016). En este contexto, el sistema educativo se convierte en el escenario fundamental para dotar a las personas de las competencias necesarias para el procesamiento y análisis de grandes volúmenes de datos.

La revisión de la literatura académica sobre la enseñanza de la disciplina de ciencia de datos evidencia en diversos estudios el uso del entorno y software libre para la generación de gráficos y la computación estadística de la denominada

herramienta R. Por ser un software libre, se usa habitualmente para la enseñanza de la estadística en el marco de una gran diversidad de áreas académicas. En el ámbito de los sistemas educativos, los adelantos tecnológicos son medios fundamentales para la consolidación y transformación de los procesos de enseñanza y aprendizaje. De esta manera, el software R se ha convertido en un medio tecnológico que ha demostrado ser eficiente en los procesos de enseñanza en distintos niveles de formación y ha sido utilizado como herramienta pedagógica para la enseñanza de las áreas relacionadas con la matemática y la estadística (Pruim et al., 2017).

Investigaciones que relacionan la enseñanza de la estadística con el software R han evidenciado que la estrategia permite dotar a los estudiantes de una herramienta que facilita el aprendizaje de la estadística, pero también favorece el cálculo de gran cantidad de datos. De igual forma, muestran que dicha estrategia es arriesgada, comprometida e innovadora, en la medida en que exige formación específica de los docentes en el uso del software y compromiso de los estudiantes para realizar procesos al margen de los lugares habituales de enseñanza (Galindo Alba, 2017).

Para López (2016), el uso de R en el proceso de enseñanza y aprendizaje de la estadística descriptiva y de la teoría de probabilidades, es útil para el diseño y desarrollo de actividades en el aula. Sin embargo, menciona que la formación técnica relacionada con el manejo de la herramienta no es suficiente y requiere ser complementada con el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico.

Kumbo (2021), en referencia al uso del software R para la enseñanza de la estadística descriptiva, evidencia que esta herramienta alteró de manera positiva la dinámica de las clases tornándose más fáciles y naturales.

En esta misma línea, Gómez Reverte et al. (2016), evidenciaron que la utilización del paquete Shiny del software R facilitó poner a disposición de los estudiantes recursos docentes enfocados a la enseñanza de la estadística y promovió la construcción de conceptos y métodos en los espacios propios de la clase y fuera de ella.

Gambetta et al. (2012) muestran que la experiencia de la enseñanza de la estadística en estudiantes de ingeniería haciendo uso del software R evidenció una mayor motivación, compromiso y entusiasmo de los estudiantes, facilitó mejores dinámicas en el procesamiento y representación de datos. De igual manera, Pavlenko et al. (2024), concluyen que usar R para enseñar estadística a programadores permite un método práctico basado en la programación.

El uso de R en la enseñanza de investigación administrativa ha generado un interés creciente por su potencial impacto en la calidad investigativa. El análisis bibliométrico realizado por Chen et al. (2023) mostró un aumento significativo

en el número de artículos de investigación en que utilizaban R para análisis avanzados, correlacionado con la adopción de R en los programas de enseñanza. Para el caso de procesos de formación en Administración Pública, el uso de R, junto con herramientas como Bookdown y Quarto, facilita la creación de análisis reproducibles y transparentes. Esto no solamente mejora la calidad de la investigación, sino que también prepara a los estudiantes para las demandas de transparencia y rendición de cuentas en el sector público.

Como se observa en esta breve descripción, el software de programación y de procesamiento de datos R ha trascendido sus propósitos iniciales y, con el tiempo, se ha convertido en un recurso pedagógico para la enseñanza de la matemática, estadística, la investigación y de otras áreas de formación, estimulando la motivación y la actitud hacia el aprendizaje autónomo de los estudiantes. En consecuencia, el dominio de herramientas tecnológicas por parte de muchos estudiantes para el acceso, procesamiento y análisis de datos contribuye al desarrollo de habilidades y competencias técnicas altamente demandadas en el mercado laboral actual.

Sin embargo, es escasa en la literatura consultada una revisión sistemática que analice la forma como se integra el Software R y la generación de competencias en diferentes niveles de formación académica. Esto impulsa a la necesidad de comprender los estudios que se han llevado a cabo en diferentes contextos de formación que buscan dar cuenta entre las mediaciones apoyadas en el software R y los avances en el aprendizaje en el contexto de la ciencia de datos.

En este contexto, se realiza una revisión sistemática de literatura de carácter cualitativo-descriptivo. En el estudio se usó la metodología PRISMA para presentar la justificación de la revisión sistemática, el método de búsqueda y los resultados del estudio. De igual forma, la búsqueda se llevó a cabo en la base de datos referencial Scopus en la que se definieron criterios de inclusión y exclusión (Artículos escritos en inglés y español publicados entre los años 2014-2024), y centrados en el uso del R como herramienta pedagógica. Mediante el paquete R bibliometrix se realizó el análisis bibliométrico de la literatura científica identificada.

El estudio logra una síntesis que integra los hallazgos en un marco comprensivo que da cuenta de la incidencia pedagógica de R en el contexto de diferentes procesos formativos para promover la generación de competencias de estudiantes y profesionales en la era del Big Data y de la ciencia de datos. Finalmente, ante la falta de sistematización de los estudios que relacionan el software R con la educación, este artículo analiza la incidencia de R como herramienta pedagógica para la generación de competencias académicas en diferentes procesos de formación.

Metodología

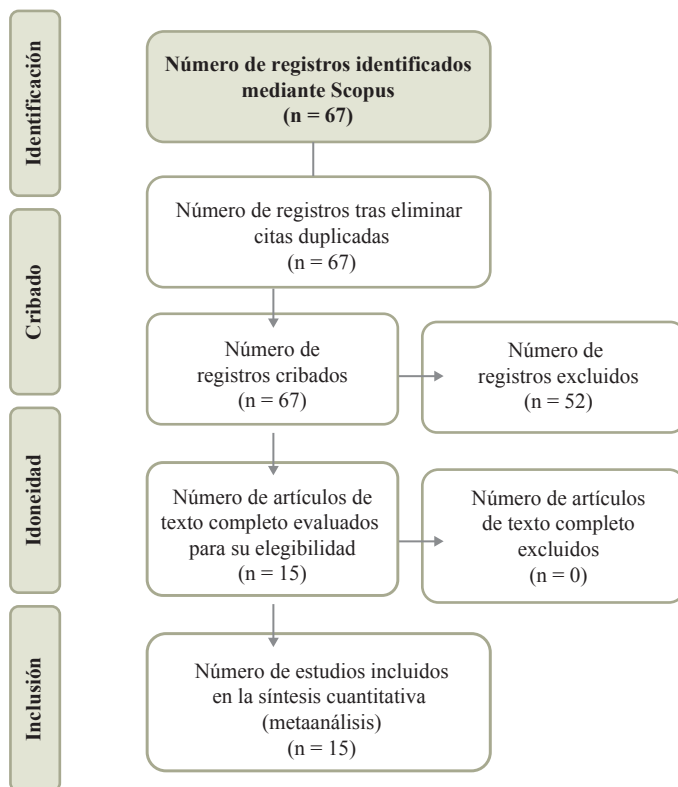
El estudio se realizó mediante una revisión sistemática de la literatura científica existente sobre el uso de R como herramienta pedagógica en la educación superior y en otros entornos educativos. Para esto, se utilizó el paquete R bibliometrix, que permite realizar análisis bibliométricos mediante la recopilación y organización de datos bibliográficos (Aria y Cuccurullo, 2017). Además, se aplicó el método PRISMA para localizar y evaluar sistemáticamente estudios relevantes para el problema en contexto, así como para formas estándar de extracción de datos (Moher et al., 2009).

Búsqueda inicial sistemática

Inicialmente, se realizó una búsqueda exhaustiva en la base de datos Scopus utilizando palabras clave relacionadas con “enseñanza”, “ciencia de datos” y “software R”. Esta búsqueda abarcó 11 años, de 2014 a 2024, e implicó la revisión de varios documentos, incluidos artículos, resúmenes y palabras clave. Posteriormente, los términos de búsqueda se redujeron, lo que resultó en la identificación de 67 artículos clave en 11 campos de conocimiento diferentes, entre estos están: las ciencias de la decisión, ciencias ambientales, agricultura, ciencias sociales, matemáticas, informática, negocios, ingeniería, economía, arte y psicología. Como resultado, se recopiló una importante cantidad de literatura relevante para el uso del software R en la enseñanza de la ciencia de datos.

Los pasos de la evaluación y recuperación de los documentos empleados en esta revisión sistemática se representan en el diagrama de flujo que se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Diagrama de flujo prisma en cuatro niveles



Fuente: elaboración propia con base en Page et al., 2021.

Criterios de inclusión

Los criterios de inclusión según la fórmula de Scopus fueron:

1. Tipo de documento: Artículos de investigación (filtro “ar”)
2. Rango temporal: Publicaciones entre 2014 y 2024
3. Áreas temáticas: 11 áreas específicas (Sociales, Matemáticas, Computación, Ciencias de la Decisión, Ambiental, Agricultura, Negocios, Ingeniería, Economía, Artes y Psicología)
4. Palabras clave: Incluyeron simultáneamente, «teaching», «data», «science», «R» y «software».
5. Ubicación de palabras clave: Título, resumen o palabras clave del documento.

La búsqueda incluyó artículos de investigación publicados entre 2014 y 2024, pertenecientes a las once áreas temáticas mencionadas.

Criterios de exclusión

Los criterios de exclusión fueron los siguientes:

1. Falta de coincidencia en palabras clave: Documentos que no contengan simultáneamente las siguientes palabras clave en el título, resumen o palabras clave del artículo: *teaching*, *data*, *science*, *R* y *software*.
2. Publicaciones fuera del rango temporal: Documentos publicados antes de 2014.
3. Tipo de documento diferente: Documentos que no sean artículos de investigación (es decir, que no tengan el tipo de documento *DOCTYPE* = “*ar*”, como reseñas, conferencias, capítulos de libros, etc.)

La búsqueda excluye cualquier documento que no cumpla con el rango de tiempo, las áreas temáticas específicas, las palabras clave requeridas o que no sea un artículo de investigación. Con base en los criterios de búsqueda, la base de datos Scopus se filtra para obtener una cantidad significativa de títulos que cumplen con los parámetros definidos. Esta selección precisa se deriva de la fórmula de búsqueda siguiente:

(TITLE-ABS-KEY (teaching AND data AND science) AND TITLE-ABS-KEY (r AND software)) AND PUBYEAR > 2013 AND PUBYEAR < 2025 AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , “SOC”) OR LIMIT-TO (SUBJAREA , “MATH”) OR LIMIT-TO (SUBJAREA , “COMP”) OR LIMIT-TO (SUBJAREA , “DECI”) OR LIMIT-TO (SUBJAREA , “ENVI”) OR LIMIT-TO (SUBJAREA , “AGRI”) OR LIMIT-TO (SUBJAREA , “BUSI”) OR LIMIT-TO (SUBJAREA , “ENGI”) OR LIMIT-TO (SUBJAREA , “ECON”) OR LIMIT-TO (SUBJAREA , “ARTS”) OR LIMIT-TO (SUBJAREA , “PSYC”))

Con la ecuación anterior, la lista se reduce a 67 artículos. Un análisis bibliométrico de estos títulos conduce a otro criterio de exclusión relacionado, que refina la selección.

La siguiente ecuación de búsqueda empleada ha permitido reducir el universo de documentos a 38 artículos científicos que cumplen con los criterios de inclusión establecidos para la revisión bibliométrica. Esta estrategia de búsqueda, al combinar términos específicos, operadores booleanos y filtros avanzados, ha resultado en un conjunto de documentos altamente relevantes y enfocados en la intersección entre la enseñanza, la ciencia de datos y el uso del software R.

(TITLE-ABS-KEY (teaching AND data AND science) AND TITLE-ABS-KEY (r AND software)) AND PUBYEAR > 2013 AND PUBYEAR < 2025 AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , “SOCT”) OR LIMIT-TO (SUBJAREA , “MATH”) OR LIMIT-TO (SUBJAREA , “COMP”) OR LIMIT-TO (SUBJAREA , “DECI”) OR LIMIT-TO (SUBJAREA , “ENVI”) OR LIMIT-TO (SUBJAREA , “AGRI”) OR LIMIT-TO (SUBJAREA , “BUSI”) OR LIMIT-TO (SUBJAREA , “ENGI”) OR LIMIT-TO (SUBJAREA , “ECON”) OR LIMIT-TO (SUBJAREA , “ARTS”) OR LIMIT-TO (SUBJAREA , “PSYC”)) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , “ar”))

En esta búsqueda, que arrojó 38 títulos, se hizo una revisión de los resúmenes y palabras clave, lo que permitió descartar 23 de ellos. Los 15 restantes fueron sometidos a una lectura completa y a un análisis final. Además, en el capítulo de resultados se incluye un análisis bibliométrico sobre la segunda ecuación de búsqueda, usando el paquete Bibliometrix para identificar las tendencias en lo relacionado con el uso del lenguaje R en diferentes disciplinas, tales como: educación, estadística, bioinformática, predicción, enseñanza, entre otros.

Resultados

A continuación, se presenta el análisis bibliométrico de la literatura consultada distribuida en dos partes. Inicialmente, en la primera parte se realiza el análisis de los 38 artículos resultado del proceso de selección según criterios de exclusión. Frente a esta literatura se revisan los siguientes parámetros: producción científica anual entre 2014 y 2024 (Figura 2), frecuencia de palabras a lo largo del tiempo (Figura 3), producción anual por país a lo largo del tiempo (Figura 4).

Después, el análisis de la segunda parte continúa con los 15 artículos seleccionados que se ven reflejados en la tabla 1, según los criterios de idoneidad e inclusión donde se revisa el uso de R como herramienta pedagógica, palabras más relevantes en el estudio de selección final (Figura 5) y visualización de árbol de palabras (Figura 6).

Con base en esta primera etapa, la figura 2 muestra la producción científica anual entre 2015 y 2024, reflejando una trayectoria de crecimiento sostenido, aunque con fluctuaciones puntuales. Tras una fase inicial de baja actividad (1 artículo en 2015 y 0 en 2016), la producción comenzó a consolidarse a partir de 2017, alcanzando un primer pico de 6 artículos en 2019. Tras una disminución en 2020 (2 artículos), la recuperación fue rápida y estable, con 5 artículos en 2021 y 2022, seguido de un máximo histórico de 7 artículos en 2023. Aunque en 2024 se registró un ligero descenso a 6 artículos, el nivel se mantiene elevado. En conjunto, la progresión numérica y la trayectoria observada en la figura evidencian un proceso de

maduración sostenida y un crecimiento significativo en la producción investigativa durante la última década.

Figura 2. Producción científica anual entre 2014 y 2024



Fuente: elaboración propia mediante biblioshiny (Aria y Cuccurullo, 2017).

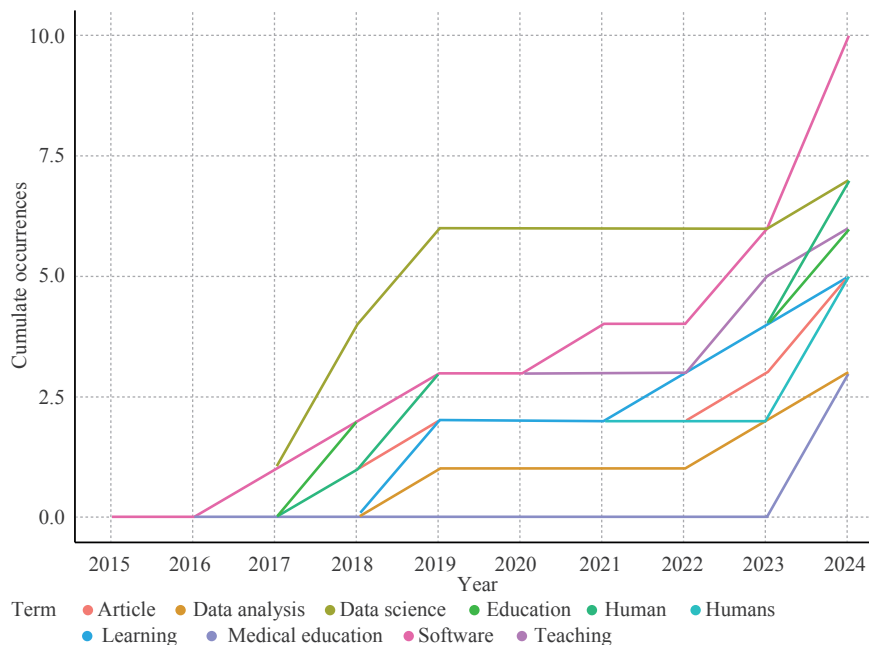
En la figura 3 se ha analizado la evolución del lenguaje en torno al uso de R en la comunidad científica a lo largo de la última década (2015-2024), y los resultados reflejan un crecimiento constante y muy significativo. Uno de los hallazgos más llamativos es el término TEACHING, que pasó de no registrarse en 2015 a aparecer en 10 publicaciones en 2024. Le sigue de cerca DATA SCIENCE, que escaló de apenas una mención a 7 en el mismo periodo.

También se observan conceptos como HUMAN y EDUCATION que ganan protagonismo, con 7 y 6 apariciones respectivamente, mientras que SOFTWARE alcanza las 6. Esto indica que hay un interés cada vez mayor no solo en la herramienta, sino también en su dimensión pedagógica y en las personas que la utilizan.

Otros términos como ARTICLE, HUMANS, LEARNING y DATA ANALYSIS experimentaron crecimientos más moderados, pero sostenidos. Y como señal de una expansión hacia áreas más especializadas, MEDICAL EDUCATION hizo su primera aparición en 2024, con 3 menciones.

En conjunto, estas tendencias pintan un panorama claro: el interés académico en R se está consolidando, reflejando una comunidad que no solo se preocupa por el análisis de datos en sí, sino también por cómo enseñarlo, aprenderlo y aplicarlo en campos cada vez más diversos.

Figura 3. Frecuencia de palabras a lo largo del tiempo



Fuente: elaboración propia mediante biblioshiny (Aria y Cuccurullo, 2017).

En la figura 4, al observar la producción científica por país, se confirma lo que ya apuntaba la revisión: el uso de R en educación y análisis de datos se ha extendido por todo el mundo, aunque a ritmos muy distintos.

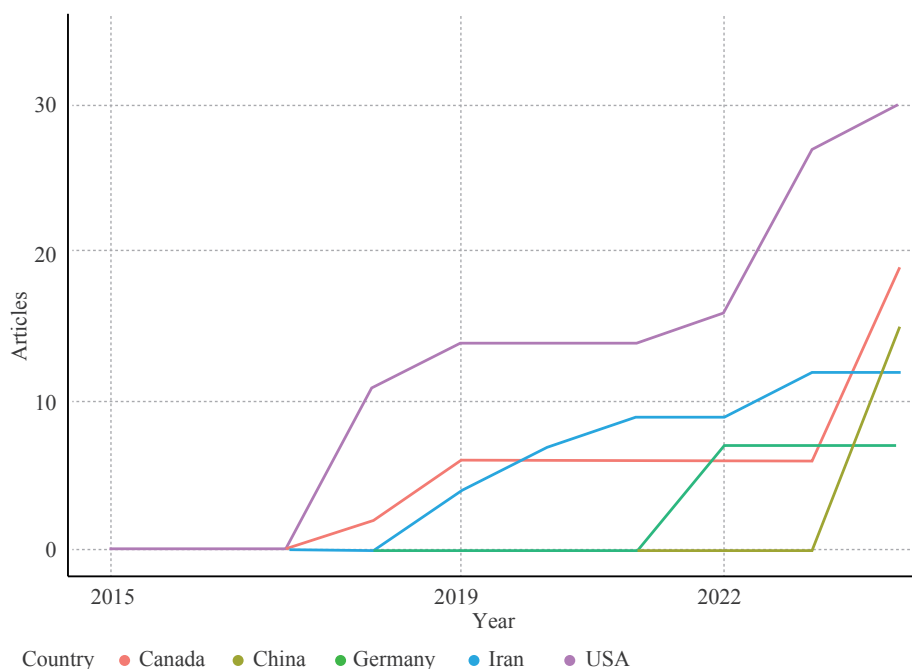
Estados Unidos lidera claramente este movimiento. Con un crecimiento constante que llegó a 30 artículos en 2024, su liderazgo se debe a que muchas universidades ya han integrado la ciencia de datos y el software libre en sus planes de estudio.

Canadá se ha sumado con fuerza más recientemente. Tras un crecimiento progresivo desde 2018, dio un salto importante en 2024, alcanzando 19 artículos, lo que demuestra una apuesta firme y acelerada por este enfoque.

En contraste, otros países presentan trayectorias distintas: Irán fue un adoptante temprano y ha mantenido un ritmo estable, alcanzando 12 artículos en 2024; Alemania se incorporó más tarde, pero de manera sólida y constante desde 2022; y China constituye el caso más llamativo, pues tras no registrar producción en años previos, irrumpió con fuerza en 2024 con 15 artículos, evidenciando una adopción repentina y significativa.

En definitiva, se encontró una tendencia global, pero con realidades muy diversas. La adopción de R depende de las prioridades de cada país, su capacidad tecnológica y los cambios en sus programas educativos. Esto lleva a una conclusión clave: es fundamental que cada región desarrolle sus propias estrategias de enseñanza y políticas educativas para formar a sus estudiantes en el análisis de datos, adaptándose a su contexto específico.

Figura 4. Producción por país a lo largo del tiempo. Periodo (2015-2024).



Fuente: elaboración propia mediante biblioshiny (Aria y Cuccurullo, 2017).

Con base en la segunda etapa, la tabla 1 contiene 15 artículos científicos finales que arrojó Scopus, una vez aplicados los criterios de idoneidad y de inclusión. Esta contiene información clave de cada uno de los artículos científicos detallando aspectos tales como: título, autor, palabras clave y temática, describiendo de manera sucinta los aportes de los diferentes estudios. Todos estos elementos evidencian los hallazgos de la revisión sistemática relacionado el uso del lenguaje R como herramienta pedagógica en diferentes contextos formativos.

Tabla 1. *Artículos uso de R como herramienta pedagógica*

Title	Authors	Keywords	Thematic
Comparing four contemporary statistical software tools for introductory data science and statistics in the social sciences.	Sardareh et al. (2021)	Evaluation; Human-Computer Interaction Features; Introductory Data Science and Statistics; Research Students In The Social Sciences; Statistical Software Tools; Teaching	Social science research students face difficulties in statistical analysis due to software design. This article discusses human-computer interaction (HCI) factors that affect performance, evaluating SPSS, R in RStudio, R Commander, and Jamovi, and highlights the importance of ease of use for beginners.
Introducing Data Science Techniques by Connecting Database Concepts and Dplyr	Broatch et al. (2019)	Data Science; Databases; Education; Teaching Tool	Early exposure to data science skills, such as relational databases, is essential for statistics students. This article presents a pedagogy with accessible visualizations and free online tools. A lesson on statistics with DPLYR in R and an evaluation of experiences in an introductory course are detailed.
¿Excuse me, do you have a moment to talk about version control?	Bryan (2018)	Data Science; Git; Github; R Language; R Markdown; Reproducibility; Workflow	This article proposes using Git and GitHub to organize and share files in data analysis and statistics education projects, avoiding organizational chaos. It focuses on version control workflows with R and R Markdown, offering tutorials and examples to facilitate their use.
Teaching data science to students in biology using r, rstudio and learnr: analysis of three years data.	Engels et al. (2023)	Data Science Teaching; Git; Ipped Classroom; R; Rstudio	This study evaluates the impact of active pedagogical methodologies in three data science courses at the University of Mons, Belgium. Blended learning and R Learn R approaches were used. Although suboptimal learning methods and interaction delays were observed by COVID-19, overall performance remained stable.
Multimodel inference in social and environmental sciences.	Garibaldi et al. (2017)	Aic; Akaike; Goodness of Fit; Hypothesis; Inference; Likelihood; Model; P Value; Parsimony; Prediction	This study shows the cognitive load to adapt to R and Git decreased only in the last course, and distance learning affected interactions, but not performance.

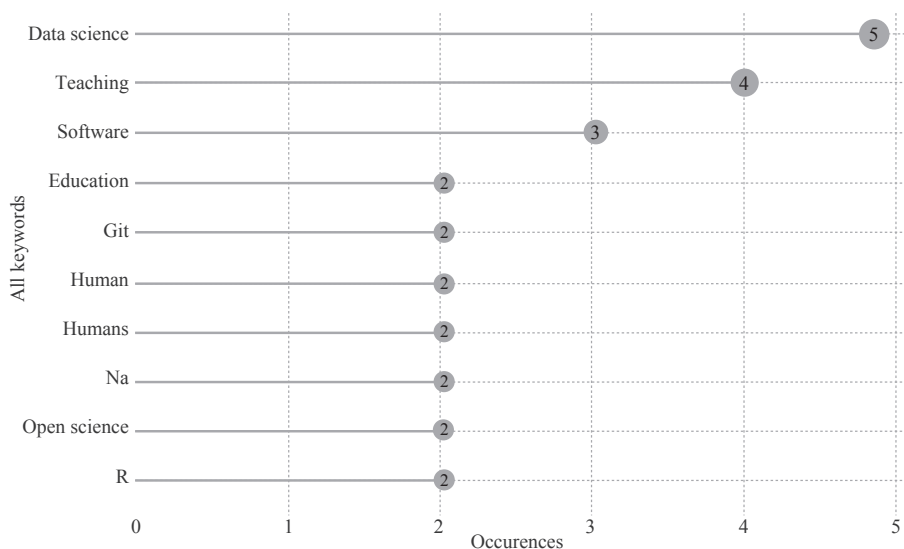
Title	Authors	Keywords	Thematic
Teaching statistics in the context of social foresight. An applied approach based on the use of an open-source software.	Giuliani et al. (2015)	Open-Source Software; Social Foresight; Statistics; Teaching Methods	This paper presents the courses “Introductory Statistics with R” and “Statistics and Foresight” of the master’s degree in Social Foresight. Quantitative methods applied to social sciences and data management with R are taught. The didactic approach highlights the interpretation of results and decision making in situations of uncertainty.
Harnessing open science practices to teach ecology and evolutionary biology using interactive tutorials.	Griffith et al. (2024)	Cognitive Load Theory; Educational Resources; Online Tutorials; Open Science; R Programming; Student-Centered Learning; Teaching; Undergraduate Education	Open science skills are fundamental to careers in ecology and evolutionary biology (EEB), focusing on transparency and reproducibility. However, these skills are often not taught in undergraduate programs. Interactive open-source tutorials are proposed to improve data and programming literacy in R.
Successful integration of data science in undergraduate biostatistics courses using cognitive load theory.	Guzmán et al. (2019)	Biostatistics; Cognition; Curriculum; Data Science; Emotions; Humans; Learning; Models; Educational; Motivation; Students	Biostatistics courses often use point-and-click software, although biologists prefer R for analyzing complex data. To reduce cognitive load, cognitive load theory was applied in two courses, resulting in students using R with higher motivation and less frustration, showing better results.
Reproducibility starts at the source: R, Python and Julia Packages for retrieving usgs hydrologic data.	Hodson et al. (2023)	Julia; Jupyter; Open Data; Open Science; Open Source; Packaged Workflows; Python; R; Reproducibility; Usgs; Water Data	Modern science uses tools such as R, Python and Julia to access databases in the cloud, fundamental to scientific reproducibility, including Earth sciences. Packages have been developed in these languages to access hydrological data, available on GitHub to foster collaboration between vendors and users.
Ten simple rules for teaching an introduction to R.	Hoffman & Wright (2024)	Computational Biology; Humans; Software; Teaching; Article; Chatgpt; Computer Language; Course Content; Data Analysis; Data Science; Ecosystem	The demand for data science skills across disciplines has led to a massive growth of data-related programs in universities, stand-alone courses, and other learning materials. While demand is high, program administrators often have difficulty finding instructors. Many students end up teaching themselves and climbing a steep learning curve.

Title	Authors	Keywords	Thematic
Interactive, browser-based graphics to visualize complex data in education of biomedical sciences for veterinary students	Liebig et al. (2022)	Biomedical Education; Dynamic Visualization; Interactive Graphics; R Shiny; Web-Based Learning	In veterinary education, static graphics limit the representation of complex biomedical data. A pilot study with 327 students and five lecturers evaluated interactive graphics developed in Shiny, revealing increased motivation and interest in learning. A workflow is proposed as a guideline for their development.
Bringing the world to the classroom: teaching statistics and programming in a project-based setting.	Meyer (2022)	Statistics, programming, interactive class, data management; Language R.	This paper proposes an interactive statistics and programming class in one semester, applicable to different lengths and levels. A project-based seminar with a flipped classroom is suggested. It is illustrated with an R class that guides students in data manipulation and culminates in a simulated mini-lecture.
On enthusing students about Big Data and social media visualization and analysis using R, rstudio, and rmarkdown.	Stander & Dalla Valle (2017)	Data Science; Data Visualization; R Software; Social Media	The intensive MATH1608PP module at Plymouth University introduces data science techniques in four weeks. Using R and RStudio, it focuses on data visualization with ggplot2, statistical inference, manipulation with dplyr and tidyr, and sentiment analysis. Lessons, evaluation, and student feedback are presented.
The R quest: from users to developers	Urbanek (2021)	Data science, programming language, software engineering.	Data science is not a programming language, creating a dichotomy between analytics and software engineering. However, the emergence of data science presents an opportunity to bridge this gap, especially through effective teaching practices.
Embedding communication concepts in forecasting training increases students' understanding of ecological uncertainty	Woelmer et al. (2023)	Active Learning; Ecological Forecast; Ecology Education; Macrosystems Eddie; R Shiny; Teaching Modules; Translational Ecology	Communicating and interpreting uncertainty in ecological model predictions is notoriously challenging, motivating the need for new educational tools,

Nota. Elaboración propia a partir de información consultada en Scopus.

En la figura 5 se presenta la frecuencia de palabras clave en el estudio, destacando que “data science”, «teaching» y “software” siguen siendo las más utilizadas, con 5, 4 y 3 ocurrencias respectivamente, mientras que términos como «human», «humans», «education» y «open science», entre otros, aparecen con 2 ocurrencias cada uno. Se mantiene una menor proporción de publicaciones relacionadas con ciencias humanas y sociales y no se observan referencias a las ciencias económicas dentro de esta tendencia, lo que podría reflejar áreas de menor exploración en este contexto.

Figura 5. Palabras más relevantes en el estudio de selección final.



Fuente: elaboración propia mediante biblioshiny (Aria y Cuccurullo, 2017).

La figura 6 ofrece una visión complementaria a la revisión sistemática, permitiendo visualizar cómo se distribuyen los intereses de investigación en el campo del uso de R. Esta herramienta confirma que existen temas claramente consolidados, siendo los más relevantes la ciencia de datos (con un 7 % de frecuencia), la enseñanza (6 %) y el software (4 %). Estos términos no solo son los más repetidos, sino que definen el núcleo central de la producción académica, mostrando un enfoque mayoritario en la enseñanza de competencias en análisis de datos mediante el uso de herramientas tecnológicas como R.

Más allá de estos ejes principales emerge un conjunto de conceptos que, aunque con menor frecuencia, reflejan líneas de investigación significativas y contemporáneas. Términos como educación, ciencia abierta, Git, reproducibilidad y R Shiny, cada

uno con un 3 % de presencia, amplían el panorama hacia aspectos metodológicos y éticos. Este nivel intermedio demuestra que la comunidad no solo se ocupa de la enseñanza básica del lenguaje, sino también de prácticas avanzadas como la reproducibilidad investigativa, la transparencia científica y el uso de entornos colaborativos.

Finalmente, la riqueza temática del campo se manifiesta en una amplia gama de términos especializados que, aunque individualmente tienen baja frecuencia, en conjunto señalan tendencias emergentes y áreas de expansión. Palabras como bioinformática, ChatGPT, visualización de datos, educación ecológica y emociones, entre otras, evidencian que el uso de R está permeando disciplinas diversas y abordando problemas específicos. Esta capa de términos únicos actúa como un semillero de nuevas direcciones, mostrando cómo el campo se está enriqueciendo con aproximaciones interdisciplinarias.

Figura 6. *Árbol de palabras*



Fuente: elaborado mediante biblioshiny (Aria y Cuccurullo, 2017).

El estudio bibliométrico expone no solo las tendencias de la literatura, sino también sus implicaciones pedagógicas, lo cual enriquece el proceso de enseñanza y aprendizaje. El uso de software y la ciencia de datos muestra una sólida relevancia del lenguaje R. Esto se ve como un recurso didáctico que impulsa el crecimiento de competencias en análisis de datos, pensamiento crítico y alfabetización digital.

Así, se proponen usos específicos para los entornos educativos. Se considera la aplicación de métodos activos basados en proyectos y el empleo de paquetes interactivos del software R {shiny}, {learnr} que sustentan el aprendizaje autónomo, a la par que se incorporan prácticas de ciencia abierta promoviendo la reproducibilidad. Incorporar estas ideas en la práctica docente no solo amplía la aplicabilidad de los resultados, sino que también robustece la innovación pedagógica y fomenta la preparación académica de los estudiantes.

Discusión

Los resultados de este ejercicio de revisión sistemática sobre el uso del lenguaje de programación y software estadístico R, como herramienta pedagógica para la enseñanza en diferentes contextos educativos, permite evidenciar que el software R ha permeado los diversos ambientes educativos y su uso es cada vez más frecuente y diverso para dinamizar procesos de formación, bien sea como parte de los contenidos de estadística de los colegios y universidades o como medio didáctico en cursos de distintos campos profesionales. De esta manera, distintos estudios han evidenciado los beneficios y/o desafíos que implica la utilización de la herramienta R para la enseñanza y la estimulación del aprendizaje en distintos escenarios educativos.

En este sentido, estudios como el de Liebig et al. (2022) analizan cómo el uso de R Shiny mejora la enseñanza de las ciencias biomédicas para estudiantes de veterinaria, mientras que, Stander y Dalla Valle (2017), describen la implementación de R y RStudio en un módulo de la Universidad de Plymouth sobre el análisis de Big Data de redes sociales. Por su lado, para la educación estadística Guzmán et al. (2019) implementan el uso de R en dos cursos de bioestadística de pregrado, uno introductorio y otro avanzado, para la educación en ciencia de datos. En este mismo sentido Meyer (2022) presenta un curso basado en proyectos de métodos cuantitativos utilizando R y diversas herramientas asociadas para el análisis de datos, visualización e informes. En cambio, R como herramienta de desarrollo según Urbanek (2021) describe cómo este ha evolucionado el análisis estadístico a un lenguaje de programación utilizado para el desarrollo de paquetes. Sardareh et al. (2021) destacaron la versatilidad estadística de R a través de RStudio. Por el contrario, Griffith et al. (2024) demuestran la utilidad pedagógica de utilizar Shiny y R Markdown en la enseñanza de la biología.

Garibaldi et al. (2017) destacan el uso de R para el análisis de datos, incluyendo ejemplos de código en los apéndices. Woelmer et al. (2023) desarrollaron un módulo interactivo utilizando R Shiny para la enseñanza de predicciones en ecología. Broatch et al. (2019) se centran en enseñar técnicas de ciencia de datos

utilizando R y el paquete dplyr, vinculando estos conceptos a las bases de datos; a diferencia de Bryan (2018) que se enfoca principalmente en el control de versiones y su importancia para la investigación colaborativa usando R y RStudio.

Por otro lado, Hodson et al. (2023) abordan el uso de R para acceder y recuperar datos hidrológicos, introduciendo el paquete “dataRetrieval” en R. Hoffman y Wright (2024) ofrecen consejos prácticos a los educadores sobre cómo enseñar una introducción a R. Engels et al. (2023) describen cómo se utilizan R, RStudio y Learnr para enseñar ciencia de datos a estudiantes de biología. Entre tanto, Giuliani et al. (2015) señalan que R se ha adoptado ampliamente en campos como la publicidad, la industria farmacéutica y las finanzas.

Estos hallazgos son altamente significativos por cuanto se conectan con lo evidenciado en el estudio de Song y Zhu (2016), sobre la escasez de personas con conocimientos y habilidades suficientes para actuar de manera adecuada en la era del Big Data. Los estudios también destacan que R como herramienta pedagógica tiene una importancia significativa, toda vez que la formación académica con el uso de este lenguaje es vital para la generación de competencias en estudiantes de distintos niveles educativos en la era de los macrodatos.

El contexto analizado permite realizar una reflexión sobre elementos de base en lo pedagógico y en el proceso de enseñanza aprendizaje en torno al tema de lenguajes de programación como el R. Hay oportunidades en diferentes contextos para que se explore el uso de este lenguaje en las ciencias humanas y sociales. El propósito debe estar enfocado en fomentar la investigación y la enseñanza de estos temas en diferentes áreas del conocimiento para muy posiblemente llevar a descubrimientos innovadores.

El lenguaje R ha evolucionado migrando de una herramienta básica de uso estadístico a todo un ecosistema de software práctico y versátil para procesos de formación académica; así mismo, permite integrar diferentes herramientas interactivas y métodos de desarrollo, facilitando la enseñanza y el aprendizaje, la investigación y la generación de conocimiento en varios campos de formación. Adicionalmente, dicha evolución ha permitido que el lenguaje R sea utilizado para la formación profesional y posgradual, ya que comprende una serie de aplicaciones que van desde la educación biomédica hasta la educación y el análisis ambiental, lo que demuestra la versatilidad de esta herramienta en diversos campos del conocimiento.

Finalmente, como herramienta pedagógica, el software R promueve el aprendizaje activo, la motivación y la capacidad de estudiantes para aprender de manera autónoma el procesamiento de datos y el análisis estadístico en el marco de diferentes problemas de múltiples campos de conocimiento. De esta manera, el uso

de R como medio didáctico dota a los estudiantes de una herramienta emergente que permite evolucionar en el aprendizaje de la estadística, pero también, contribuye a la consolidación de procesos formativos facilitando el alcance de resultados de aprendizaje en diversos contextos y niveles de formación.

Conclusiones

El análisis de la literatura permite observar el interés de investigadores a nivel mundial por explicar usos alternativos del software estadístico R en procesos educativos. Esta realidad se hace concreta en el marco de formación de múltiples disciplinas académicas, en las que se utiliza este software para facilitar la apropiación conceptual y el análisis de problemas propios de estas disciplinas, a la vez que se induce a los estudiantes de diferentes niveles en el uso de herramientas tecnológicas propias de la era del Big Data.

Los artículos analizados evidencian que el uso del lenguaje R en las aulas permite llevar a otros niveles las capacidades analíticas de los estudiantes y profesionales en diversos contextos educativos y, paralelamente, se generan competencias para enfrentar el mercado laboral actual. De esta manera, los estudios muestran como el R se transforma en un recurso de aprendizaje, ya que trasciende los límites de la enseñanza tradicional de la estadística. Además, permite fortalecer las habilidades investigativas en la ciencia de datos, vinculando a estudiantes y profesionales de administración, ingeniería, matemáticas, ciencias puras, entre otras, para procesos de toma de decisiones.

De igual forma, la investigación sobre el uso del lenguaje R en procesos de enseñanza evidencia la actitud de los maestros hacia la implementación de pedagogías activas que promueven en los estudiantes el aprendizaje autónomo a partir de las posibilidades que generan las herramientas de acceso libre para el procesamiento y análisis de datos. Así, los hallazgos muestran que la incorporación de nuevos métodos pedagógicos, tales como el aprendizaje mixto y las aulas híbridas, han logrado no solamente motivar a los estudiantes sino también mejorar el rendimiento de aquellos que actualmente se capacitan en ciencia de datos, resaltando que la enseñanza a distancia y la virtualidad no han sido una barrera para avanzar en este proceso educativo.

En los referentes investigados, se devela que, en la formación en áreas de las ciencias sociales, es sistemático el uso del lenguaje R como una herramienta de enseñanza. Esto muestra que los programas académicos aprovechan la funcionalidad y versatilidad de este software, cuya relevancia en este campo del conocimiento es cada vez más aceptada y utilizada.

La necesidad de diferentes campos disciplinares y profesionales de incursionar en la era de la ciencia de datos ha hecho que proliferen cursos y recursos educativos que capacitan a los interesados en la aplicación del lenguaje R. Esto ha traído consigo también la creación de paquetes para que las personas de manera autodidacta aprendan del tema, ante la poca oferta de instructores expertos.

Los hallazgos muestran que integrar el software R en la formación académica no solo mejora el aprendizaje estadístico, sino que también impacta la **política educativa**, el **diseño curricular** y la **gestión institucional**. La evidencia indica que las políticas de modernización deben incorporar herramientas libres como R para fortalecer competencias en ciencia de datos, en respuesta a las demandas del mercado laboral y a la necesidad de promover la equidad mediante el acceso abierto.

De igual forma, los hallazgos sugieren que el lenguaje R debe integrarse de forma transversal en los planes de estudio; esto implica avanzar hacia currículos que incorporen competencias fundamentales como análisis de datos, visualización, modelamiento y reproducibilidad científica.

Relacionado con lo anterior, la incidencia pedagógica de R depende de la formación profesional docente, por lo que se requieren programas de formación, capacitación y asistencia técnica, con el propósito de afianzar tanto el dominio técnico del software como las competencias didácticas asociadas a pedagogías activas y al aprendizaje autónomo. Es decir, la eficacia del uso del R en la educación depende de la disposición de los maestros para desarrollar pensamiento crítico y reflexivo que les permita enfrentar los desafíos de la educación en la transformación digital.

La evidencia indica que la incorporación de R impulsa una transformación institucional. Para ello, las instituciones deben promover estrategias que fortalezcan recursos educativos abiertos, laboratorios virtuales, entornos híbridos de aprendizaje y el uso de plataformas LMS (*Learning Management System*). Estas acciones deben orientarse a mejorar la calidad formativa y a posicionar a las instituciones educativas como referentes en la preparación de estudiantes, de todos los niveles, para enfrentar con solvencia sus futuros contextos laborales y académicos.

Referencias

Abbasnasab Sardareh, S., Brown, G. T. L. & Denny, P. (2021). Comparing four contemporary statistical software tools for introductory data science and statistics in the social sciences. *Teaching Statistics*, 43(S1), S157-S172. <https://doi.org/10.1111/test.12274>

- Aria, M. & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of Informetrics*, 11(4), 959-975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Broatch, J. E., Dietrich, S. & Goelman, D. (2019). Introducing data science techniques by connecting database concepts and dplyr. *Journal of Statistics Education*, 27(3), 147-153. <https://doi.org/10.1080/10691898.2019.1647768>
- Bryan, J. (2018). Excuse me, do you have a moment to talk about version control? *The American Statistician*, 72(1), 20-27. <https://doi.org/10.1080/00031305.2017.1399928>
- Engels, G., Grosjean, P. & Artus, F. (2023). Teaching data science to students in biology using R, RStudio and Learnr: Analysis of three years data. *Foundations of Data Science*, 5(2), 266-285. <https://doi.org/10.3934/fods.2022022>
- Función Pública. (2022). *Analítica institucional: El poder de los datos en el sector público-VI*. Departamento Administrativo de la Función Pública. <https://acortar.link/otqJVZ>
- Galindo Alba, A. (2017). Didáctica con R. Menos cuentas y más pensamiento crítico. *Pensamiento Matemático*, 7(1), 53-73. <https://tinyurl.com/y4tqutha>
- Gambetta, F., Goitía, C., San Román, V. y Zeppa, C. (2012). Utilización del software R para la enseñanza de la estadística: Experiencia en un curso de ingeniería. *Revista de Educación Matemática*, 27(2). <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/REM/article/view/10200>
- Garibaldi, L. A., Aristimuño, F. J., Oddi, F. J. y Tiribelli, F. (2017). Inferencia multimodelo en ciencias sociales y ambientales. *Ecología Austral*, 27(3), 348-363. <https://doi.org/10.25260/EA.17.27.3.0.513>
- Giest, S. (2017). Big Data for policymaking: Fad or fasttrack? *Policy Sciences*, 50(3), 367-382. <https://doi.org/10.1007/s11077-017-9293-1>
- Giuliani, D., Dickson, M. M. & Espa, G. (2015). Teaching statistics in the context of social foresight: An applied approach based on the use of an open-source software. *On the Horizon*, 23(2), 140-148. <https://doi.org/10.1108/OTH-02-2015-0010>
- Gómez Reverte, D. S., Molina Vila, M. D., Mulero, J., Nueda, M. J. y Pascual Romero, A. (2016). *Aplicaciones diseñadas con Shiny: Un recurso docente para la enseñanza de la estadística*. Universidad de Alicante. <https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/59411>

- Griffith, J. E., Houghton, E., Slein, M. A., Fraser Franco, M., Chávez, J., Forsythe, A. B., Glynn, V. M., Katkov, E., Palmier, K. M., Sang, Z., Trejo-Pérez, R., Wiley, B., Sunday, J. M. & Bernhardt, J. R. (2024). Harnessing open science practices to teach ecology and evolutionary biology using interactive tutorials. *Ecology and Evolution*, 14(6), e11179. <https://doi.org/10.1002/ece3.11179>
- Guzman, L. M., Pennell, M. W., Nikelski, E. & Srivastava, D. S. (2019). Successful integration of data science in undergraduate biostatistics courses using cognitive load theory. *CBE—Life Sciences Education*, 18(4), ar60. <https://doi.org/10.1187/cbe.19-02-0041>
- Hodson, T. O., DeCicco, L. A., Hariharan, J. A., Stanish, L. F., Black, S. & Horsburgh, J. S. (2023). Reproducibility starts at the source: R, Python, and Julia packages for retrieving USGS hydrologic data. *Water*, 15(24), 4236. <https://doi.org/10.3390/w15244236>
- Hoffman, A. M. & Wright, C. (2024). Ten simple rules for teaching an introduction to R. *PLOS Computational Biology*, 20(5), e1012018. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1012018>
- Kelleher, J. D. y Tierney, B. (2018). *Ciencia de datos*. MIT Press.
- Kumbo, J. (2021). Software “R” como herramienta en la enseñanza de la estadística descriptiva. *EduSol*, 21(76), 114-124. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9538234>
- Lemus-Delgado, D. y Pérez Navarro, R. (2020). Ciencia de datos y estudios globales: Aportaciones y desafíos metodológicos. *Colombia Internacional*, 102, 41-62. <https://doi.org/10.7440/colombiaint102.2020.03>
- Liebig, P., Pröhl, H., Sudhaus-Jörn, N., Hankel, J., Visscher, C. & Jung, K. (2022). Interactive, browser-based graphics to visualize complex data in education of biomedical sciences for veterinary students. *Medical Science Educator*, 32(6), 1323-1335. <https://doi.org/10.1007/s40670-022-01613-x>
- López, A. (2016). Usos del programa R en la enseñanza de la estadística. En E. Mariscal (Ed.), *Acta Latinoamericana de Matemática Educativa* (pp. 1380-1388). Comité Latinoamericano de Matemática Educativa.
- Meyer, C. (2022). Bringing the world to the classroom: Teaching statistics and programming in a project-based setting. *PS: Political Science & Politics*, 55(1), 193-197. <https://doi.org/10.1017/S1049096521001104>

- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G. & The PRISMA Group. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLoS Medicine*, 6(7), e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- Page, M. J., Moher, D., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... McKenzie, J. E. (2021). PRISMA 2020 explanation and elaboration: Updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n160. <https://doi.org/10.1136/bmj.n160>
- Pavlenko, L., Pavlenko, M. & Khomenko, V. (2024). Teaching statistics to future programmers using real data sets and R programming language. *CEUR Workshop Proceedings*, 102-117.
- Pruim, R., Kaplan, D. T. & Horton, N. J. (2017). The mosaic package: Helping students to think with data using R. *The R Journal*, 9(1), 77-102. <https://doi.org/10.32614/RJ-2017-024>
- Redondo, R. R., Pereira, C. A., Monge, K. U., Rojas, G. R., Rodríguez, F. M. y Salazar, L. F. (2021). La ciencia de datos como insumo en la toma de decisiones de la política pública costarricense en el marco de la pandemia por Covid 19. *Revista Centroamericana de Administración Pública*, 81. <https://ojs.icap.ac.cr/index.php/RCAP/article/view/377/773>
- Song, I.-Y. & Zhu, Y. (2016). Big Data and data science: What should we teach? *Expert Systems*, 33(4), 364-373. <https://doi.org/10.1111/exsy.12130>
- Stander, J. & Dalla Valle, L. (2017). On enthusing students about Big Data and social media visualization and analysis using R, RStudio, and RMarkdown. *Journal of Statistics Education*, 25(2), 60-67. <https://doi.org/10.1080/10691898.2017.1322474>
- Urbanek, S. (2021). The R quest: From users to developers. *The R Journal*, 13(2), 22-24. <https://doi.org/10.32614/RJ-2021-111>
- Woelmer, W. M., Moore, T. N., Lofton, M. E., Thomas, R. Q. & Carey, C. C. (2023). Embedding communication concepts in forecasting training increases students' understanding of ecological uncertainty. *Ecosphere*, 14(8), e4628. <https://doi.org/10.1002/ecs2.4628>

