

Reproducibilidad como práctica formativa: una experiencia con revisión por pares en la enseñanza de Ciencia de Datos Ambientales

Silvia Cristina de Jesus, Universidade Federal de São Carlos, UFSCar, Brasil,
silvia.dejesus@ufscar.br, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0320-0000>

Palabras clave: Reproducibilidad, enseñanza superior, ciencia abierta, revisión por pares, ciencia de datos ambientales, formación científica

1. Introducción

La reproducibilidad es un principio clave del método científico, ya que permite que los resultados de una investigación sean verificados por otros investigadores. Al garantizar la repetición consistente de experimentos y análisis, asegura la confiabilidad del conocimiento y evita conclusiones basadas en resultados aislados. Además, fomenta transparencia y rigor metodológico mediante la documentación de datos, códigos, protocolos y análisis, fortaleciendo la confianza en la ciencia y facilitando la validación y aplicación de nuevos hallazgos.

Para estudiantes de posgrado stricto sensu, que siguen carreras de investigación y docencia, enseñar la reproducibilidad desde el inicio resulta estratégico. En esta etapa, los alumnos desarrollan competencias esenciales para proyectos científicos sólidos y para orientar a otros investigadores. Incorporar prácticas reproducibles en evaluaciones y cultura institucional refuerza la credibilidad de los resultados y desarrolla habilidades críticas de planificación experimental, registro de métodos y análisis riguroso de datos. Dogucu (2025) enfatiza que introducir la reproducibilidad desde el inicio de la carrera de investigación y como práctica institucional es fundamental para mejorar la ciencia y la formación de futuros investigadores. Ball et al. (2022) destacan que la reproducibilidad computacional es esencial para la credibilidad de la investigación y el desarrollo intelectual de los estudiantes, recomendando integrarla de manera continua y adaptable en los planes de estudio, con énfasis en documentación cuidadosa y cultura académica que valore la reproducibilidad rutinaria.

Diversos estudios han señalado una crisis de reproducibilidad en varias áreas, especialmente en biología computacional, comprometiendo la confianza en la literatura científica y dificultando la toma de decisiones basada en evidencia (Munafò et al., 2017; Karathanasis et al., 2022; Dogucu, 2025). La ciencia abierta, como movimiento que fortalece la confianza científica, promueve el intercambio de datos, códigos, métodos y resultados, potenciando la reproducibilidad. Tanto la reproducibilidad como la ciencia abierta son competencias formativas que deben introducirse en la educación superior, contribuyendo a formar investigadores críticos y responsables (Ball et al., 2022).

Basada en transparencia, colaboración y acceso libre, la ciencia abierta transforma la educación científica al desarrollar competencias éticas, críticas y colaborativas. En la enseñanza de ciencia de datos, favorece prácticas reproducibles mediante el intercambio de código, documentación y control de versiones, entendiendo la reproducibilidad como la capacidad de replicar análisis y resultados a partir de datos y códigos originales.

En contextos educativos, la reproducibilidad puede incorporarse como práctica pedagógica, enseñando a los estudiantes a documentar, versionar y validar sus trabajos (Dogucu & Çetinkaya-Rundel, 2022). La revisión por pares surge como estrategia de aprendizaje activo, fortaleciendo la comprensión de buenas prácticas científicas, permitiendo retroalimentación constructiva y reflexión crítica sobre el propio trabajo (Karathanasis et al., 2022).

Frente a este escenario, el objetivo de este artículo es analizar la implementación de una actividad pedagógica sobre reproducibilidad y ciencia abierta en un curso de posgrado, evaluando su impacto en competencias técnicas, éticas y colaborativas, aportando insumos para integrar prácticas reproducibles en asignaturas y formar investigadores preparados para los desafíos de la producción científica.

En el Programa de Posgrado en Ciencias Ambientales de la Universidad Federal de São Carlos en Brasil (PPGCAm/UFSCar), se propuso una actividad orientada a desarrollar competencias prácticas en ciencia abierta y reproducibilidad mediante revisión por pares. La propuesta promovió aprendizajes prácticos y reflexivos sobre producción científica, destacando transparencia, ética y colaboración mediante intercambio de datos, documentación rigurosa y reproducción de análisis de los estudiantes.

2. Metodología

La experiencia se llevó a cabo en el contexto de la asignatura *Ciencia de Datos Ambientales*, ofrecida a estudiantes del PPGCAm/UFSCar. El contenido de la asignatura abordó fundamentos de la ciencia de datos aplicada al medio ambiente, análisis exploratorio de datos ambientales, uso de herramientas digitales esenciales, prácticas de investigación reproducible, acceso a bases de datos públicas, interdisciplinariedad, ética y ciencia ciudadana. La propuesta pedagógica buscó articular teoría y práctica, destacando tanto los aspectos técnicos de recopilación, análisis y visualización de datos como los principios de transparencia y colaboración científica. El enfoque se basó en Dogucu (2025), quien señala que la práctica activa de revisión y reproducción fortalece habilidades técnicas, sentido de responsabilidad científica y comprensión de principios de ciencia abierta.

Como actividad evaluativa, se orientó a los estudiantes a seguir la lista de verificación de buenas prácticas en investigación reproducible propuesta por Alston y Rick (2021), contemplando etapas de almacenamiento, procesamiento e intercambio de datos. A partir de esto, cada participante produjo análisis de datos ambientales acompañados de documentación detallada, publicando sus repositorios en GitHub con datos, códigos e instrucciones para reproducir los análisis. Aunque GitHub no es, por sí mismo, una plataforma educativa, puede considerarse una herramienta de Aprendizaje Colaborativo Asistido por Computadora (*Computer-Supported Collaborative Learning* - CSCL) (Kaliisa et al., 2025) cuando se utiliza en contextos pedagógicos.

En este sentido, se adoptó como espacio central para la actividad desarrollada en esta investigación, lo que permitió que los seis estudiantes participantes (cinco de maestría y uno de doctorado) trabajaran de forma colaborativa, compartieran códigos y análisis, realizaran revisión por pares y co-construyeran proyectos. Este enfoque favoreció el aprendizaje activo y el compromiso reflexivo, al mismo tiempo que promovió prácticas de ciencia abierta y reproducibilidad, elementos esenciales para la formación de investigadores confiables y éticos.

Posteriormente, los trabajos fueron sometidos a un proceso de revisión por pares. Cada estudiante debía intentar reproducir el análisis de un compañero y, a continuación, completar un formulario estructurado en Google Forms, elaborado específicamente para evaluar la claridad, la reproducibilidad y el valor pedagógico de la actividad. Este instrumento constaba de dos partes: preguntas cerradas en escala de Likert (1 = “totalmente en desacuerdo” a 5 = “totalmente de acuerdo”) y preguntas abiertas. La primera parte buscaba medir objetivamente aspectos como la claridad del objetivo de la actividad, la facilidad para reproducir el código, la suficiencia de la documentación, la utilidad de la retroalimentación recibida, la identificación de mejoras, la contribución de la actividad a la comprensión de la reproducibilidad, el nivel de desafío, la relevancia de las herramientas de revisión por pares y la disposición a recomendar la actividad a otros estudiantes.

En la segunda parte, compuesta por preguntas abiertas, se invitó a los estudiantes a relatar los principales desafíos enfrentados, la posibilidad de implementar mejoras sugeridas, las etapas más fáciles o difíciles del proceso de revisión, la percepción sobre el impacto de la actividad en su comprensión de la reproducibilidad, así como sugerencias para mejorar la documentación, el proceso de revisión por pares y la actividad en su conjunto. Al final, también se solicitó que evaluaran su experiencia general en una escala de cinco puntos (de “muy mala” a “excelente”) e indicaran el aprendizaje más valioso adquirido. Las respuestas del formulario fueron organizadas en hojas de cálculo y analizadas de manera cuantitativa y cualitativa. Los datos cuantitativos proporcionaron una visión general de las percepciones de los estudiantes en relación con la claridad, efectividad y utilidad de la actividad, mientras que las respuestas abiertas se examinaron mediante categorización temática, permitiendo identificar aprendizajes percibidos, dificultades enfrentadas y sugerencias de mejora.

3. Resultados clave

Dado que la actividad fue realizada con un grupo reducido de seis estudiantes, las estadísticas descriptivas, como la media y la desviación estándar de la escala de Likert, deben interpretarse con cautela. Estas medidas proporcionan una visión general de las percepciones del grupo, pero no permiten inferencias estadísticas amplias. Para una mayor transparencia, se considera importante señalar que los valores reflejan únicamente las respuestas de esta muestra pequeña, complementando la interpretación cuantitativa con el análisis cualitativo de los comentarios abiertos de los participantes. Los resultados del análisis de la escala de Likert indican que la actividad fue ampliamente bien recibida por los estudiantes. La claridad de la propuesta fue evaluada de manera consistentemente alta ($M = 4,83$; $DP = 0,41$), lo que sugiere que los objetivos de la actividad fueron comunicados de manera eficaz. De manera

similar, los participantes reconocieron la importancia de la reproducibilidad en la ciencia de datos ambientales ($M = 5,00$; $DP = 0,00$), reflejando un consenso absoluto sobre la relevancia del tema para la práctica científica. La comprensión de la reproducibilidad también mostró medias elevadas ($M = 4,83$; $DP = 0,41$), indicando que la actividad contribuyó significativamente a consolidar el concepto entre los estudiantes.

La retroalimentación recibida durante la revisión por pares fue percibida como útil ($M = 4,67$; $DP = 0,52$), y la mayoría de los participantes fue capaz de identificar mejoras en los trabajos revisados ($M = 4,83$; $DP = 0,41$), evidenciando compromiso crítico y reflexión sobre buenas prácticas científicas. En términos generales, los estudiantes consideraron que el nivel de desafío de la actividad fue adecuado ($M = 4,67$; $DP = 0,52$), equilibrando complejidad técnica y capacidad de realización. Además, la experiencia con herramientas digitales como GitHub y Google Forms fue evaluada positivamente ($M = 4,67$; $DP = 0,52$), reforzando el potencial de los entornos de CSCL para apoyar el aprendizaje colaborativo.

Un punto que merece atención fue la facilidad para reproducir los códigos producidos ($M = 4,33$; $DP = 0,52$), que presentó la media más baja entre los ítems analizados. Esta diferencia sugiere que, aunque los estudiantes lograron en general replicar los resultados, persistieron desafíos relacionados con barreras técnicas o lagunas en la documentación, lo que refuerza la necesidad de consolidar estrategias de registro y control de versiones más estandarizadas. La evaluación de la documentación también presentó cierta variabilidad ($M = 4,67$; $DP = 0,82$), indicando que, aunque suficiente en la mayor parte de los casos, la consistencia entre los repositorios podría mejorarse para facilitar la reproducción futura. Finalmente, la recomendación de la actividad a otros estudiantes recibió una puntuación elevada ($M = 4,83$; $DP = 0,41$), evidenciando que los estudiantes percibieron un valor pedagógico significativo en la experiencia. En términos generales, los resultados cuantitativos confirman que la integración de revisión por pares, documentación rigurosa y uso de herramientas de CSCL no solo promovió la comprensión conceptual sobre reproducibilidad, sino que también estimuló el compromiso activo, la reflexión crítica y la responsabilidad científica. Al mismo tiempo, señalan oportunidades de mejora en la estandarización y claridad de los registros, elementos esenciales para consolidar la reproducibilidad como práctica regular en la formación de científicos.

El análisis cualitativo de las respuestas abiertas reveló que los estudiantes percibieron tanto desafíos como beneficios significativos en el proceso de revisión por pares y reproducción de códigos. Entre los principales desafíos reportados, se destacó la dificultad para manejar herramientas digitales desconocidas, como Google Earth Engine, y comprender códigos de compañeros, especialmente cuando la temática no era familiar o el estudiante carecía de experiencia previa en programación. A pesar de esto, muchos participantes señalaron que la organización clara de los códigos, la documentación detallada y las instrucciones paso a paso facilitaron la reproducción de los resultados, haciendo la actividad más accesible y práctica. La experiencia de ofrecer retroalimentación constructiva fue mencionada como un punto desafiante, requiriendo cuidado para equilibrar críticas y elogios, mientras que la evaluación de la claridad y organización de los trabajos se consideró la etapa más sencilla del proceso.

Los estudiantes indicaron que la actividad contribuyó significativamente a su comprensión sobre reproducibilidad, evidenciando que la documentación cuidadosa, el control de versiones de los códigos y la posibilidad de reproducir resultados son elementos centrales para la confianza y la solidez científica. Destacaron que la práctica de revisar y reproducir trabajos de compañeros favoreció el desarrollo del pensamiento crítico, la identificación de mejoras y la comprensión de buenas prácticas científicas, reforzando la importancia de la ciencia abierta y la transparencia en la investigación. Además, la oportunidad de explorar diferentes herramientas digitales y acceder a datos abiertos fue reconocida como particularmente útil para consolidar habilidades técnicas y ampliar el conocimiento en ciencia de datos ambientales.

En cuanto a las sugerencias de mejora, los participantes mencionaron la necesidad de una mayor orientación para principiantes en programación, la inclusión de discusiones en grupo para el intercambio de observaciones y la disponibilidad de modelos claros de informes y formularios para guiar la documentación. También resaltaron la importancia de detallar mejor todos los pasos del algoritmo, incluyendo ejemplos de entrada y salida, para asegurar que otros puedan reproducir los resultados con facilidad.

En términos generales, los relatos indican que la actividad fue percibida como altamente valiosa y enriquecedora, tanto desde el punto de vista pedagógico como técnico. Los estudiantes enfatizaron que

la experiencia proporcionó un aprendizaje práctico sobre reproducibilidad, reforzó la necesidad de documentación clara y detallada y evidenció el papel de la revisión por pares como herramienta de mejora científica. Por último, la experiencia estimuló la curiosidad, el compromiso y el interés continuo en profundizar habilidades en ciencia de datos y prácticas de ciencia abierta, consolidando la actividad como un instrumento efectivo para la formación de investigadores críticos y éticos.

El análisis de las palabras más frecuentes en las respuestas abiertas revela puntos importantes sobre la percepción de los estudiantes respecto a la actividad de reproducibilidad. Términos como “datos”, “trabajo” y “resultados” fueron los más recurrentes, destacando el enfoque central de los participantes en la manipulación e interpretación de información, así como en la producción científica concreta. Este énfasis evidencia que, para los estudiantes, el aprendizaje práctico sobre la recopilación, organización y análisis de datos fue uno de los aspectos más significativos de la experiencia.

La presencia frecuente de palabras como “proceso”, “pasos” y “etapas” indica que los participantes valoran la estructuración metódica de las actividades, reconociendo la importancia de seguir procedimientos claros para alcanzar la reproducibilidad. Asociada a esto, la recurrencia de términos como “documentación”, “clara”, “claridad” y “explicar” refuerza que la capacidad de describir detalladamente métodos y códigos es percibida como esencial para hacer que el trabajo sea accesible y reproducible por otros investigadores.

El destaque de palabras relacionadas con la ciencia, como “reproducibilidad”, “ciencia”, “investigación”, “conocimiento” y “aprendizaje”, indica que los estudiantes internalizaron el valor conceptual de la actividad. Percibieron que la práctica va más allá de seguir procedimientos mecánicos, involucrando reflexión crítica sobre los principios científicos y la ética en la investigación. La frecuencia de términos como “práctica”, “forma” y “posibilidad” sugiere que la actividad fue eficaz en proporcionar experiencias concretas, permitiendo a los alumnos probar y validar teorías, además de explorar soluciones de manera independiente.

Por otro lado, la aparición de palabras como “difícil”, “desafíos”, “revisor” y “dificultad” indica que algunos participantes enfrentaron obstáculos relacionados con la comprensión de los códigos de sus compañeros o con el dominio de herramientas digitales, especialmente para principiantes en programación. Este contraste entre percepción de facilidad y de desafío evidencia la importancia de un soporte pedagógico continuo, que incluya orientaciones claras, ejemplos prácticos y momentos de discusión colectiva.

Asimismo, la presencia de términos como “mejoras”, “revisión”, “reproducción” y “código” confirma que la revisión por pares fue efectiva para incentivar la reflexión crítica y el perfeccionamiento del trabajo, permitiendo que los estudiantes identificaran puntos de mejora y consolidaran prácticas de documentación y control de versiones. La palabra “excelente”, presente con frecuencia, evidencia la evaluación positiva general de la actividad, sugiriendo compromiso, satisfacción y percepción de relevancia.

Por lo tanto, el análisis de las palabras más recurrentes indica que la actividad fue exitosa en articular teoría y práctica, desarrollando competencias técnicas y éticas y promoviendo la ciencia abierta. Señala áreas de mejora, especialmente en el apoyo a estudiantes menos familiarizados con programación o herramientas digitales, reforzando la necesidad de estrategias pedagógicas equilibradas.

Los resultados coinciden con la literatura sobre enseñanza reproducible en ciencia de datos, mostrando que la revisión por pares estructurada fomenta habilidades técnicas, conciencia ética y compromiso colaborativo (Dogucu & Çetinkaya-Rundel, 2022; Karathanasis et al., 2022). La documentación detallada, publicación de códigos y retroalimentación estructurada permitió a los estudiantes comprender la importancia de la reproducibilidad como criterio de evaluación científica.

Las limitaciones incluyen el tiempo para reproducir resultados, la variabilidad en el dominio de herramientas digitales y algunas inconsistencias en la documentación. Aun así, la experiencia mostró potencial para institucionalizarse en asignaturas de posgrado y extenderse a pregrado y otras áreas del conocimiento.

La documentación detallada de la metodología es esencial para garantizar la transparencia y la reproducibilidad de la investigación, incluso cuando los procedimientos se realizan en softwares con interfaz gráfica y no implican programación. Para estudiantes e investigadores que aún no trabajan con códigos, es fundamental registrar paso a paso cada operación, incluyendo menús accedidos, parámetros elegidos, filtros aplicados y ajustes realizados. Este registro permite que otros reproduzcan los resultados

de manera precisa, comprendan las decisiones tomadas y evalúen la confiabilidad de los datos, consolidando buenas prácticas científicas desde las etapas iniciales del aprendizaje.

No obstante, se observa que los estudiantes tienden a utilizar metodologías que no requieren programación. Esta preferencia refleja, en gran medida, una cuestión cultural y formativa, en la cual la capacitación práctica y teórica enfatiza herramientas gráficas o procesos consolidados que permiten análisis e interpretación de datos sin necesidad de codificación. Aunque la programación ofrece mayor flexibilidad y reproducibilidad, la elección de métodos no programables facilita el aprendizaje inicial y la aplicación directa en contextos de investigación y enseñanza superior. Karathanasis et al. (2022) enfatizan la limitación de la experiencia en programación como un factor crítico para el éxito en la reproducción de resultados, concluyendo que los estudiantes con más práctica logran superar mejor las barreras técnicas. En este sentido, Valle y Berdanier (2012) destacan que la enseñanza de programación es esencial para que los científicos ambientales realicen análisis de datos de manera eficiente y reproducible. Señalan la carencia de estas habilidades en los currículos tradicionales y sugieren enfoques pedagógicos que conecten la lógica de programación con problemas reales, facilitando el aprendizaje y promoviendo autonomía en el uso de las herramientas.

4. Implicaciones y conclusiones

Los resultados obtenidos permiten identificar implicaciones pedagógicas relevantes y señalar conclusiones sobre la incorporación de la reproducibilidad en la enseñanza de la ciencia de datos ambientales. La actividad de enseñanza de la reproducibilidad mediante revisión por pares se mostró eficaz para desarrollar competencias en ciencia abierta y prácticas reproducibles. Los estudiantes adquirieron habilidades técnicas, sentido de responsabilidad científica y comprensión del valor de la retroalimentación colaborativa. Se recomienda la institucionalización de este enfoque, incorporándolo en asignaturas, evaluaciones y formación docente. Replicaciones futuras podrían ampliar el alcance a nivel de pregrado y en distintos contextos científicos.

La investigación refuerza la importancia de integrar prácticas de reproducibilidad en el currículo de posgrado como estrategia efectiva para formar científicos mejor preparados frente a la crisis de reproducibilidad, promoviendo transparencia, ética y calidad en la investigación. Esta integración puede darse tanto mediante la reproducción directa de análisis publicados como mediante el estímulo a la ciencia abierta y la revisión crítica por pares.

La incorporación de prácticas de ciencia abierta y reproducibilidad en el currículo de posgrado se mostró eficaz para sensibilizar a los estudiantes sobre la importancia de generar ciencia confiable y transparente. Al participar en actividades que implican intercambio de datos, documentación detallada y revisión por pares, los alumnos comprenden cómo la reproducibilidad fortalece la confianza en los resultados científicos y la integridad de la investigación. Esta experiencia desarrolla habilidades técnicas y éticas, y fomenta una conciencia crítica sobre los desafíos y responsabilidades de producir conocimiento sólido y verificable, formando investigadores más comprometidos con prácticas científicas rigurosas.

5. Declaración de uso de IA

Se usaron herramientas de IA (ChatGPT, GPT-5 mini, agosto 2025) para la traducción y revisión, con supervisión humana que garantizó precisión y coherencia, cumpliendo la ética y respetando licencias y confidencialidad.

Referencias

- Alston, J. M., & Rick, J. A. (2021). A beginner's guide to conducting reproducible research. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 102(2), e01801. <https://doi.org/10.1002/bes2.1801>
- Ball, R., Medeiros, N., Bussberg, N. W., & Piekut, A. (2022). An invitation to teaching reproducible research: Lessons from a symposium. *Journal of Statistics and Data Science Education*, 30(3), 209–218. <https://doi.org/10.1080/26939169.2022.2099489>
- Dogucu, M. (2025). Reproducibility in the classroom. *Annual Review of Statistics and Its Application*, 12, 89–105. <https://doi.org/10.1146/annurev-statistics-112723-034436>

Dogucu, M., & Çetinkaya-Rundel, M. (2022). Tools and recommendations for reproducible teaching. *Journal of Statistics and Data Science Education*, 30(3), 251–260.

<https://doi.org/10.1080/26939169.2022.2138645>

Kaliisa, R., López-Pernas, S., Misiejuk, K., Damşa, C., Sobocinski, M., Järvelä, S., & Saqr, M. (2025). A Topical Review of Research in Computer-Supported Collaborative Learning: Questions and Possibilities. *Computers & Education*, 228, 105246. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2025.105246>

Karathanasis, N., Hwang, D., Heng, V., Abhimannu, R., Slogoff-Sevilla, P., Buchel, G., Frisbie, V., Li, P., Kryoneriti, D., & Rigoutsos, I. (2022). Reproducibility efforts as a teaching tool: A pilot study. *PLoS Computational Biology*, 18(11), e1010615. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1010615>

Munafò, M. R., Nosek, B. A., Bishop, D. V. M., Button, K. S., Chambers, C. D., Percie du Sert, N., Simonsohn, U., Wagenmakers, E.-J., Ware, J. J., & Ioannidis, J. P. A. (2017). A manifesto for reproducible science. *Nature Human Behaviour*, 1, 0021. <https://doi.org/10.1038/s41562-016-0021>

Valle, D., & Berdanier, A. (2012). Computer programming skills for environmental sciences. *Bulletin of the Ecological Society of America*, 93(4), 373–389. <https://doi.org/10.1890/0012-9623-93.4.373>

Licencia

Este resumen ampliado se distribuye bajo licencia Creative Commons Atribución 4.0 (CC-BY-NC 4.0).