

## Materiales Educativos en carreras STEM: Entornos Colaborativos y Reproducibilidad en lenguaje R

Irma Noemí No<sup>1</sup>, Julián E. Tornillo<sup>1</sup>, Guadalupe Pascal<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Lomas de Zamora, Ruta 4 KM 2, Lomas de Zamora, 1832, Buenos Aires, Argentina  
[no.irma@gmail.com](mailto:no.irma@gmail.com), [jtornillo@ingenieria.unlz.edu.ar](mailto:jtornillo@ingenieria.unlz.edu.ar), [gpascal@ingenieria.unlz.edu.ar](mailto:gpascal@ingenieria.unlz.edu.ar)

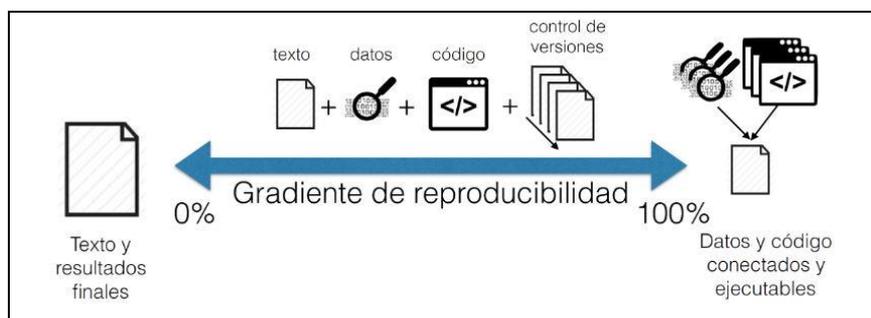
**Resumen.** Históricamente, los diseños curriculares de las carreras tecnológicas están comprendidos por un conjunto de conocimientos que deben ser adquiridos. En los últimos años, las carreras orientadas a las Ciencias, Tecnologías, Ingenierías y la Matemática (STEM) en general están migrando hacia diseños curriculares por competencias y, en este marco, cobra vital importancia el saber hacer, expresado como el resultado de un proceso de aprendizaje. Por otra parte, la reproducibilidad en la ciencia resulta fundamental para garantizar resultados idénticos, manteniendo los datos, procedimientos y metodologías utilizadas en el experimento original. Algo similar ocurre en el ámbito académico, en donde la incorporación de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) permite la elaboración de material educativo abierto y reproducible. En este trabajo se presentan las principales herramientas del entorno R-Studio y su aplicabilidad en la generación de material didáctico para fortalecer los procesos de enseñanza y aprendizaje en las carreras de Ingeniería, Informática y demás carreras con perfil tecnológico.

### 1 Introducción

Desde sus inicios, los diseños curriculares de las carreras orientadas a las Ciencias, Tecnologías, Ingenierías y Matemática (STEM) fueron elaborados sobre la base de una serie de conocimientos que un o una estudiante debe saber para poder alcanzar un título universitario. Hace ya varios años, estos diseños curriculares, comúnmente conocidos como planes de estudio, están migrando hacia diseños por competencias, en donde la obtención de conocimientos es condición necesaria pero no suficiente para alcanzar el objetivo. Estos diseños por competencias proponen además un “saber hacer”, expresado como el resultado del aprendizaje de los conocimientos adquiridos en los distintos campos del conocimiento. Esto es aplicable para todas las carreras STEM en general, y para las distintas terminales de Ingeniería en particular. En este sentido, el Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI) de Argentina define a una competencia como la capacidad de articular eficazmente un conjunto de esquemas (estructuras mentales) y valores, permitiendo movilizar (poner a disposición) distintos saberes, en un determinado contexto con el fin de resolver situaciones profesionales [1].

Para la formación de estas competencias se requieren estrategias, herramientas e instrumentos de enseñanza dinámicos y también sistemas de evaluación que no se centren en la enseñanza, sino en el aprendizaje. De esta manera, se pretende acompañar los perfiles laborales solicitados en la actualidad y también los campos de desarrollo profesional que serán solicitados en un futuro, a partir de la creciente incorporación de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) [2]. Es por ello que la noción de una formación académica sostenible en el tiempo no está resuelta con un conjunto único de actividades y prácticas estáticas de enseñanza, sino que se requieren materiales educativos editables y reproducibles a través del uso de las nuevas plataformas y lenguajes de programación.

La reproducibilidad es parte de la definición del método científico que se utiliza en el ámbito académico y científico, ya que las principales características de un modelo son la falsabilidad, la reproducibilidad y la repetibilidad de los resultados. La reproducibilidad alude directamente a la obtención de resultados idénticos a los divulgados por un grupo de investigación utilizando los mismos recursos, la documentación y siguiendo el mismo procedimiento. En este sentido, un artículo científico es reproducible si está acompañado por una metodología de respaldo y un documento o código que permita recrear exactamente todos los resultados y figuras a partir de los datos originales [3], [4]. La reproducibilidad es entonces una medida que acompaña a todo documento científico que recorre un gradiente de valores, desde la imposibilidad de reproducción hasta la garantía de una reproducibilidad exacta a través de los datos, códigos y protocolos expuestos [5] tal como se muestra en la Figura 1. La literatura sobre replicabilidad en la ciencia contiene los propios conceptos que impulsa; es decir, se basa en material replicable y disponible en formato abierto, tanto para el uso como para la reformulación y avance de sus contenidos [6].



**Fig. 1.** Gradiente de reproducibilidad. Fuente: Rodríguez Sánchez (2016).

Existen numerosas publicaciones que demuestran la falta de veracidad, robustez y consistencia en investigaciones publicadas sobre ensayos experimentales que no pudieron ser reproducidos, ya sea por falta de especificidad o por supuestos basados en metodologías y/o análisis estadísticos no estrictos [7], [8]. Los principales factores que afectan la reproducibilidad de publicaciones, experiencias y materiales de enseñanza suelen ser los sesgos de selección o de inflación, provocando lo que se conoce

como sesgo de exceso de significación. También se incluyen como factores clave el error en los análisis de datos, el diseño de la investigación o el experimento, las políticas de confidencialidad y las prácticas computacionales irreproducibles [9].

Particularmente, en la enseñanza de carreras STEM, la reproducibilidad se enmarca en el campo teórico de la didáctica, bajo líneas de estudio sobre temáticas de transposición y obsolescencia de las situaciones de enseñanza y aprendizaje. Un gran número de autores le atribuyen a Brousseau el planteo de interrogantes ligados a este problema, sosteniendo que saber lo que se reproduce en una situación de enseñanza es justamente el objetivo de la didáctica [10]. Otros, consideran dos subsistemas interrelacionados (docente-estudiante) para analizar las características de la reproducibilidad. De esta manera, autores como Artigue, Arsac y Lezama investigan la noción de reproducibilidad en el campo didáctico mediante el planteo de problemas abiertos y cambios de escenario, siguiendo un hilo histórico, común y conducente sobre el docente y su administración del “envejecimiento” de sus materiales y propuestas de enseñanza [11], [12]. Por otra parte, Lezama aborda esta temática desde una perspectiva global en donde resulta complejo poder asegurar la perfecta replicabilidad educativa por existir numerosas variables intervinientes, ligadas a la estructura o ingeniería didáctica propuesta (externas) o a la significación de los aprendizajes para cada grupo de estudiantes (interna) [13], [14].

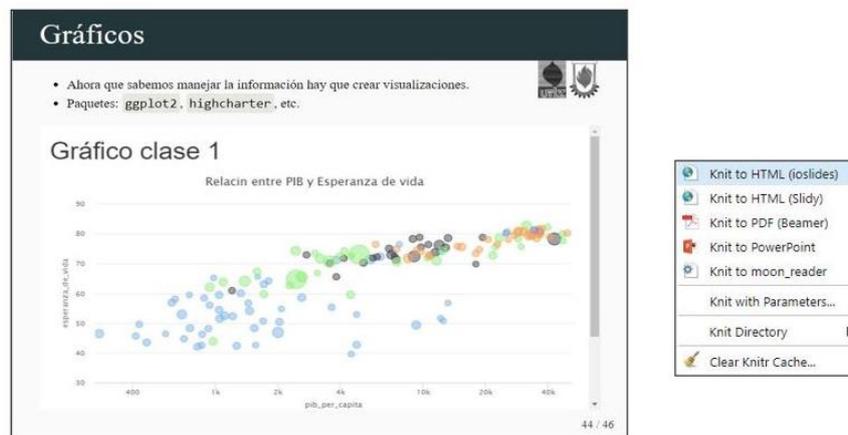
## 2 Generación de material reproducible

Los y las docentes de las áreas STEM han tenido históricamente dificultades comunicacionales y didácticas a la hora de elaborar material de enseñanza. Generar un apunte en este campo del conocimiento involucra -al menos- el uso de procesador de texto, editor de ecuaciones y la incorporación de herramientas de visualización a través de algún utilitario o lenguaje informático. Algunos de los más utilizados son Excel, Graphmática, Maple, Mathematica, Matlab, GeoGebra, R, Minitab, SPSS y Python. Luego estos materiales deben ser publicados mediante algún soporte, usualmente digital. En este sentido, numerosas plataformas multimediales como YouTube, Vimeo y Twitch se han esforzado por incorporar herramientas de interacción entre sus usuarios, mejorando notablemente las experiencias de aprendizaje asociadas. Los *ap-plets* y *widgets* creados por diferentes docentes en diversos programas embebidos en sitios abiertos facilitan el aprendizaje y aumentan la notificación de los estudiantes. La interacción del estudiante con el objeto de aprendizaje se basa entonces en la reproducción (*run*) bajo la elección de un conjunto de parámetros de ejecución. Las metodologías de enseñanza que incorporan estrategias de storytelling y gamificación contienen un componente adicional de emoción y han sido recientemente incorporadas a diversos objetos de aprendizaje con soportados por la tecnología [15].

Las actividades de aprendizaje interactivo generalmente utilizan cinco tipos básicos de operatividad, concretamente: diálogo, control, manipulación, búsqueda y navegación. Estas habilidades tecnológicas podrían resultar fortalecidas si se centran en la reproducibilidad del material mediante el agregado de la visibilidad del código interviniente en el objeto de aprendizaje. Generalmente, la actualización de los materiales

y objetos de aprendizaje que tienen soporte tecnológico requiere un esfuerzo significativo de reelaboración, republicación, sin dejar de asegurar la reproducibilidad. Esta reformulación y adecuación del material se facilita en gran medida mediante el uso de lenguajes como Markdown (MARKDOWN.ES). La sintaxis en este lenguaje se encuentra disponible en plataformas abiertas y gratuitas como Google Colaboratory y Jupyter Notebooks. También está incluida en entornos de desarrollo integrados (IDEs), como R-Project, R-Studio y JupyterLab. Estos documentos además pueden ser compartidos en línea (en versión .html), lo que permite modificar el código y generar inmediatamente un nuevo resultado en el entorno en que haya sido publicado.

En este trabajo se aborda la creación de material reproducible en R-Studio, utilizando el lenguaje Markdown. En este sentido, los archivos resultantes son denominados RMarkdown y son de tipo presentación. Un ejemplo se puede ver en la Figura 2.



**Fig. 2.** Slide de presentación con gráfico interactivo embebido y opciones de salida. Fuente: Elaboración propia.

La creación de archivos RMarkdown a través de la opción *template* se basa en formatos preestablecidos que se encuentran disponibles para descarga en los distintos paquetes librerías instaladas dentro de R-Studio. En la Tabla 1 se realiza una breve descripción de los más utilizados.

**Tabla 1.** Templates más utilizados en RMarkdown

Nombre	Característica principal
FlexDashboard	Posee la capacidad de crear desde widgets, aplicaciones <i>Shiny</i> hasta páginas web completas
Learnr	Permite crear tutoriales interactivos con celdas de código editable y ejecutable.
Prettydoc	Es muy utilizado por ser estético y moderno
Xaringan	Al igual que Prettydoc, es estético, moderno y po-

Rticles	see funcionalidades extendidas y mejoradas Son plantillas correspondientes a los formatos de presentación de artículos en revistas científicas
---------	---

Para la creación de un material educativo en R-Studio, resulta conveniente generar una carpeta específica en la cual se guardarán de forma ordenada los datos, archivos, imágenes y otros elementos que componen el documento final de RMarkdown. A continuación se mencionan los dos paquetes más utilizados para la producción de materiales educativos.

**Tabla 2.** Paquetes y librerías más utilizadas para material educativo

Nombre	Característica principal
Bookdown	Es un paquete que permite crear libros fácilmente. Al crear el proyecto tipo “Book Project using Bookdown se visualiza una plantilla completa de capítulos, figuras, estilos, etc. La misma está lista para ser editada por el autor y redactar su material sobre el esquema precargado.
Blogdown	Es un paquete de soporte para la creación de páginas web, como alternativa a los tradicionales blog estáticos.

### 3 Publicación de material reproducible

#### 3.1 Sitio R-Pubs

Es un sitio web abierto al registro gratuito de cualquier persona mantenido por R-Studio. Contiene una galería de documentos publicados que han sido compartidos por los diferentes usuarios registrados. R-Pubs resulta de gran utilidad para la comunidad de dicho lenguaje ya que cumple la función de repositorio para la consulta de distintos casos de uso.

#### 3.2 Sitio Shinyapp

Los archivos interactivos creados bajo el formato Shiny de RMarkdown pueden ser cargados en el sitio de Shinyapp, también mantenido por R-Studio. También es un sitio gratuito y abierto, en donde el material se carga en una dirección específica que puede ser compartido con terceros para su visualización y uso. La galería de aplicativos Shiny resulta de gran ayuda para docentes ya que dispone de numerosos ejemplos y códigos disponibles.

### 3.3 Sitio RStudio Cloud

RStudio Cloud también es mantenido por R-Studio y permite crear proyectos y almacenarlos en la nube. Existe una restricción de cantidad de horas de uso al mes y una capacidad de hasta 15 proyectos. Es una herramienta adecuada para el dictado de talleres, ya que permite tener embebida una función de ejecución en tiempo real. Cualquier usuario con el link puede guardar una copia del material, correrlo y editarlo en su propio entorno.

### 3.4 Repositorios abiertos

Estos repositorios, que anteriormente eran utilizados por programadores y profesionales de la informática, actualmente resulta atractivo para docentes ya que poseen un entorno ordenado y que permiten otorgar licencias y autorías, a través de la generación de identificadores de objetos digitales (DOI). Los repositorios más populares son Github, Zenodo y Netlify.

Los materiales creados pueden ser alojados, publicados y compartidos mediante estos repositorios de manera eficiente, estando interconectados con el software con el que fueron creados, por ejemplo R-Studio. Un ejemplo del proceso de creación y publicación de material educativo en este tipo de entornos se muestra en la Figura 3.



Fig. 3. Proceso de creación y publicación de un proyecto en R-Studio. Fuente. Elaboración propia a partir de Hill (2021)

### 3.5 Sitios de pago

RStudio.com ofrece servidores para el uso online de los lenguajes lenguaje R y Python y para el alojamiento de materiales y documentos producidos en R-Studio, a través de su producto *RStudio Server*. Existe una versión gratuita de este producto, que limita la cantidad de usuarios a cien y es instalable en el sistema operativo Linux. Este producto posee un costo por mantenimiento y soporte. Otra solución de pago es

el alquiler de un servidor privado para instalar R-Studio en el sistema operativo que corresponda al servidor y realizar allí materiales, alojamientos y publicaciones. En este último caso el docente debe poseer cierto grado de conocimiento sobre administración de sitios web

#### 4 Conclusiones y líneas futuras

En este trabajo se realiza una síntesis de los recursos disponibles en R-Studio y su aplicabilidad para la creación de material educativo reproducible de base tecnológica, con alto grado de funcionalidad, renovabilidad y diseño. Las herramientas que este entorno ofrece para crear materiales reproducibles de forma gratuita que puedan ser compartidos y publicados bajo diferentes licencias y resguardo de autoría resultan de gran utilidad para docentes de las áreas STEM. La versatilidad de esta herramienta para interactuar con distintas bases de datos, lenguajes y programas lo posicionan como uno de los entornos de mayor potencial a la hora de generar material de enseñanza y aprendizaje orientado a la formación de competencias profesionales basadas en el saber hacer.

La reproducibilidad asegura la posibilidad de mantener los formatos, modalidades y contenidos de los materiales educativos basados en documentos RMarkdown y en proyectos de R-Studio. Además, se están desarrollando permanentemente actualizaciones en los paquetes de generación de exámenes, en particular Exams. Esto permite generar tantos exámenes con valores aleatorios como se desee e importar de forma automática esta configuración a las diferentes plataformas educativas virtuales. Esto permite que cada estudiante resuelva problemas diferentes sobre la base de valores aleatorios generados para un mismo problema; lo cual puede alterar significativamente los resultados y las conclusiones del enunciado.

Los trabajos futuros están orientados a la capacitación en el uso de estas herramientas para la reproducibilidad de materiales educativos orientados a la formación por competencias en Ingeniería. Además, se pretende incorporar esta dinámica de trabajo a los nuevos grupos de investigación.

#### Referencias

- [1] CONFEDI, “Primer Acuerdo sobre Competencias Genéricas.” 2006, [Online]. Available: [https://www.frbb.utn.edu.ar/frbb/info/secretarias/academica/carreras/apoyo/Competencias\\_CONFEDI.pdf](https://www.frbb.utn.edu.ar/frbb/info/secretarias/academica/carreras/apoyo/Competencias_CONFEDI.pdf).
- [2] M. Morales Capilla, J. M. Trujillo Torres, and F. Raso Sánchez, “Percepciones acerca de la integración de las TIC en el proceso de enseñanza-aprendizaje de la universidad,” *Rev. Medios y Educ.*, vol. 46, pp. 103–117, 2015, doi: 10.12795/pixelbit.2015.i46.07.
- [3] R. Peng, “Reproducible research in computational science,” *Science (80-. )*, pp. 1226–1227, 2011, Accessed: Jun. 22, 2021. [Online]. Available:

- <https://science.sciencemag.org/content/334/6060/1226.abstract>.
- [4] B. Marwick, "Computational reproducibility in archaeological research: basic principles and a case study of their implementation," *J. Archaeol. Method Theory*, vol. 24, no. 2, pp. 424–450, 2016, Accessed: Jun. 22, 2021. [Online]. Available: <http://ro.uow.edu.au/smhpapers/4034>.
- [5] R. G. Fitzjohn, M. W. Pennell, A. E. Zanne, P. F. Stevens, D. C. Tank, and W. K. Cornwell, "How much of the world is woody?," *J. Ecol.*, vol. 102, no. 5, pp. 1266–1272, 2014, doi: 10.1111/1365-2745.12260.
- [6] F. Rodríguez-Sánchez, A. J. Pérez-Luque, I. Bartomeus, and S. Varela, "Rodríguez-Sánchez, F., Pérez-Luque, A. J., Bartomeus,... - Google Académico," *Cienc. Reprod. qué, por qué, cómo*, vol. 25, no. 2, pp. 83–92, 2016.
- [7] J. P. A. Ioannidis, "Why most published research findings are false," in *Getting to Good: Research Integrity in the Biomedical Sciences*, Springer International Publishing, 2018, pp. 2–8.
- [8] M. Baker, "Over half of psychology studies fail reproducibility test," *nature.com*, 2015.
- [9] P. Monterrey, "Reproducibilidad de sus resultados: Un reto ineludible para la investigación científica," *innovacionyciencia.com*, no. 4, 2018, Accessed: Jun. 22, 2021. [Online]. Available: [https://innovacionyciencia.com/articulos\\_cientificos/reproducibilidad-de-sus-resultados-un-reto-ineludible-para-la-investigacion-cientifica](https://innovacionyciencia.com/articulos_cientificos/reproducibilidad-de-sus-resultados-un-reto-ineludible-para-la-investigacion-cientifica).
- [10] G. Brousseau, "Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques," *pascal-francis.inist.fr*, 1986, Accessed: Jun. 22, 2021. [Online]. Available: <https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=11892329>.
- [11] M. Artigue, R. Douady, L. Moreno, and P. Gómez, "Ingeniería didáctica en educación matemática. Un esquema para la investigación y la innovación en la enseñanza y el aprendizaje de las matemáticas." pp. 33–59, 1995, Accessed: Jun. 22, 2021. [Online]. Available: <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=LIBRO.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=024702>.
- [12] G. Arsac, N. Balacheff, and M. Mante, "Teacher's role and reproducibility of didactical situations," *Educ. Stud. Math.*, vol. 23, no. 5, pp. 5–29, 1992, doi: 10.1007/BF00302312i.
- [13] A. J. Lezama, "Una mirada socioepistemológica al fenómeno de la reproducibilidad," *Rev. Latinoam. Investig. en Matemática Educ.*, vol. 8, no. 3, pp. 339–362, 2015, Accessed: Jun. 22, 2021. [Online]. Available: <http://funes.uniandes.edu.co/9687/>.
- [14] M. Montoya and F. Lezama, "La reproducibilidad de situaciones de aprendizaje en un taller de reflexión docente," *Cuad. Investig. Educ.*, vol. 1, no. 7, pp. 41–54, 2017, Accessed: Jun. 22, 2021. [Online]. Available: [http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?pid=S1688-93042016000100004&script=sci\\_arttext&tlng=en](http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?pid=S1688-93042016000100004&script=sci_arttext&tlng=en).
- [15] J. K. Y. Tse, S. W. Y. Chan, and S. K. W. Chu, "Quality Assessment for Digital Stories by Young Authors," *Data Inf. Manag.*, vol. 5, no. 1, pp. 174–183, 2021, doi: 10.2478/dim-2020-0039.
4. Michalewicz, Z.: *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*. 3rd edn. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York (1996)