

DOI:

Type of article: Original, Review, Case Report, Short communication, Academic essay.

From equation to image: mathematical simulation and visualization in RStudio

De la ecuación a la imagen: simulación y visualización matemática en RStudio


Jesús Francisco Carpio Mendoza
Centro de Estudios Estratégicos del Bajío, México.
<https://orcid.org/0000-0002-6862-9804>; j_carpio@cestbajio.edu.mx

Corresponding author: j_carpio@cestbajio.edu.mx

Citar como: Carpio Mendoza, J. F. (2024). De la ecuación a la imagen: simulación y visualización matemática en RStudio. *International Journal of Innovation and Pedagogy*, 1(1), 13-19. <https://editorialdidaxis.com/ijip/index.php/home/article/view/9>

Recibido: 25-08-2024
Aceptado: 13-10-2024
Publicado: 30-12-2024

Editor: Mgtr. Daniel Roman-Acosta PhD. (c)

Copyright: © 2024 Autor Jesús Francisco Carpio Mendoza; Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0) 

ABSTRACT

This article reflects on the role of computational simulation and mathematical visualization as central tools for exploring advanced models whose complexity, in many cases, exceeds traditional analytical treatment. It argues that, when implemented in R and developed within the RStudio environment, equations cease to operate solely as symbolic expressions and are transformed into dynamic systems amenable to computational experimentation. Through the generation of graphs, surfaces, networks, and three-dimensional representations, simulation allows for the interpretation of abstract structures, the identification of patterns, the analysis of stability, and the recognition of emergent behaviors. Within this framework, it is emphasized that visualization does not replace mathematical rigor but rather complements it by connecting theoretical formalization and perception, thus facilitating the appropriation of scientific knowledge.

Keywords: scientific computing, mathematical models, RStudio, computational simulation, scientific visualization.

RESUMEN

Este artículo reflexiona sobre el papel de la simulación computacional y la visualización matemática como herramientas centrales para explorar modelos avanzados cuya complejidad supera, en muchos casos, el tratamiento analítico tradicional. Se argumenta que, al implementarse en R y desarrollarse en el entorno RStudio, las ecuaciones dejan de operar únicamente como expresiones simbólicas y se transforman en sistemas dinámicos susceptibles de experimentación computacional. A través de la generación de gráficas, superficies, redes y representaciones tridimensionales, la simulación permite interpretar estructuras abstractas, identificar patrones, analizar estabilidad y reconocer comportamientos emergentes. En este marco, se enfatiza que la visualización no sustituye el rigor matemático, sino que lo complementa al conectar formalización teórica y percepción, favoreciendo la apropiación del conocimiento científico.

Palabras clave: computación científica, modelos matemáticos, RStudio, simulación computacional, visualización científica.

INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia de la ciencia, la matemática ha funcionado como un lenguaje de alta precisión para describir regularidades, dinámicas y estructuras que rara vez son accesibles a la observación directa. Sin embargo, la potencia expresiva del formalismo simbólico trae consigo un problema persistente: muchas formulaciones—especialmente cuando involucran alta dimensionalidad, no linealidad, sensibilidad a condiciones iniciales o interacciones múltiples—resultan difíciles de interpretar únicamente desde la notación. En ese punto, la simulación computacional y la visualización científica dejan de ser recursos auxiliares y pasan a constituirse como prácticas centrales para explorar el comportamiento de modelos, contrastar supuestos, detectar patrones emergentes y comunicar resultados de forma inteligible.

En la investigación contemporánea, el avance de la computación científica ha permitido transformar ecuaciones en procesos dinámicos: algoritmos numéricos que producen trayectorias, campos, superficies, redes o mapas de comportamiento. Desde esta perspectiva, programar no es solo “calcular”, sino construir experimentos computacionales: definir parámetros, ejecutar escenarios, observar estabilidad/variación y obtener evidencia visual o cuantitativa que retroalimente la comprensión teórica (Langtangen & Linge, 2020; Downey, 2023). Así, la simulación se posiciona como un puente entre el rigor formal y la intuición analítica: permite aproximarse a fenómenos que, por su complejidad, no se dejan resolver (o no se dejan interpretar) mediante métodos puramente analíticos.

Dentro de ese ecosistema, el lenguaje R y su entorno RStudio ofrecen un marco especialmente fértil para articular análisis, simulación y representación visual. La orientación de R hacia el análisis de datos, el modelado y la comunicación mediante gráficos facilita un flujo de trabajo donde el modelo matemático se implementa, se explora y se presenta en un mismo espacio de desarrollo (Peng, 2020; Irizarry, 2022). En particular, las prácticas de transformación y organización de datos para análisis y visualización fortalecen la claridad del proceso computacional (Wickham & Grolemund, 2023), mientras que los principios de visualización contribuyen a construir imágenes informativas, comparables y conceptualmente nítidas, evitando que la gráfica sea meramente decorativa (Wilke, 2020). Además, cuando el desempeño o la extensión del lenguaje lo demandan, la integración de R con C++ mediante Rcpp amplía el espectro de soluciones para simulaciones más exigentes (Eddelbuettel & Balamuta, 2021).

Este artículo se sitúa en ese cruce entre formalismo, cómputo e interpretación visual para reflexionar sobre el papel de la simulación computacional en RStudio como medio de comprensión y exploración de modelos matemáticos avanzados, especialmente en el marco de trabajos colaborativos vinculados con las investigaciones del matemático mexicano Dr. Francisco Bulnes, en su línea Más allá de la Frontera de la Ciencia. En este contexto, la visualización opera como un mecanismo de “traducción epistemológica”: convierte abstracciones altamente compactas—frecuentes en resúmenes científicos especializados—en estructuras observables que pueden ser inspeccionadas, comparadas y discutidas con mayor precisión conceptual. Dicho de otra forma, el objetivo no es sustituir el razonamiento matemático, sino complementarlo con una forma de evidencia computacional que haga visibles propiedades del sistema (tendencias, invariancias, singularidades o regímenes de comportamiento) que pueden pasar inadvertidas en el plano simbólico (Langtangen & Linge, 2020; Downey, 2023).

En consecuencia, la contribución de este trabajo se organiza alrededor de tres propósitos: (i) destacar la simulación computacional como instrumento de investigación y no solo como apoyo didáctico; (ii) argumentar la pertinencia de un flujo de trabajo en R/RStudio que integre modelado, análisis y visualización para explorar estructuras matemáticas complejas (Peng, 2020; Irizarry, 2022; Wickham & Grolemund, 2023); y (iii) subrayar criterios de comunicación visual rigurosa para que las imágenes producidas por la simulación expresen información científica interpretable y verificable, en lugar de convertirse en representaciones ambiguas (Wilke, 2020). Complementariamente, el artículo reconoce que la alfabetización estadística y el uso responsable de técnicas de modelado fortalecen la interpretación de resultados cuando los modelos simulados incorporan incertidumbre o variación paramétrica (Matloff, 2021; Navarro, Foxcroft, & Faulkenberry, 2021).

El texto se estructura del siguiente modo: primero se aborda la matemática como lenguaje abstracto y el tránsito hacia su representación computacional; luego se discute la simulación como herramienta de exploración y generación de hipótesis; posteriormente se examina la visualización como vía de apropiación y comunicación del conocimiento; y finalmente se

presentan conclusiones sobre el valor epistemológico de integrar cálculo, simulación y visualización en una práctica investigativa unificada en RStudio.

DESARROLLO

La matemática como lenguaje abstracto y su transformación visual

La matemática opera, ante todo, como un lenguaje simbólico capaz de describir regularidades y estructuras mediante sistemas de representación altamente compactos: ecuaciones diferenciales, operadores, integrales, sistemas dinámicos y formulaciones geométricas que formalizan fenómenos desde la dinámica de partículas hasta espacios abstractos. No obstante, esa comprensión simbólica tiene un costo cognitivo: cuando los modelos crecen en dimensionalidad, no linealidad o sensibilidad paramétrica, su interpretación “solo en el papel” exige una carga de inferencia que puede ocultar patrones relevantes o inducir lecturas parciales.

Históricamente, gran parte de esta interpretación dependía de la intuición matemática y de la manipulación analítica. Con la consolidación de la computación científica, este panorama cambió: el modelo deja de ser únicamente una expresión estática y se convierte en un objeto explorable mediante experimentación computacional, donde se varían parámetros, se prueban escenarios y se inspeccionan comportamientos emergentes. En este contexto, los métodos numéricos (por ejemplo, discretizaciones para EDO/EDP) hacen posible estudiar soluciones en regímenes donde el tratamiento cerrado es limitado o impracticable (LeVeque, 2007; Press et al., 2007).

La visualización no es un “adorno” del cálculo, sino un componente epistemológico: ayuda a convertir resultados y estructuras en representaciones perceptibles, facilitando la identificación de regularidades, transiciones de régimen y singularidades. La literatura en visualización subraya que una buena representación gráfica no solo “muestra datos”, sino que habilita tareas analíticas concretas (comparar, detectar tendencias, localizar anomalías) a partir de principios de diseño y percepción (Munzner, 2014; Ware, 2020). En particular, la investigación sobre percepción gráfica muestra que distintas codificaciones visuales tienen distinta precisión interpretativa, por lo que el diseño de gráficos influye directamente en la calidad de la lectura científica (Cleveland & McGill, 1984). Asimismo, los criterios de integridad y claridad en la presentación gráfica son cruciales para evitar distorsiones y sobreinterpretaciones (Tufte, 2001).

Desde esta perspectiva, el tránsito “de la ecuación a la imagen” no debe entenderse como sustitución del formalismo, sino como ampliación de la capacidad interpretativa del investigador: la visualización integra teoría, cálculo y percepción para hacer más accesibles estructuras que, en notación pura, pueden resultar opacas o difíciles de inspeccionar de forma sistemática (Munzner, 2014; Ware, 2020).

Simulación computacional como instrumento de investigación científica

La simulación computacional funciona como un puente operativo entre la formalidad matemática y la intuición humana: al implementar un modelo, las ecuaciones pasan a comportarse como procesos dinámicos que producen trayectorias, campos, superficies o redes observables. Desde la perspectiva metodológica, simular implica decisiones explícitas sobre: discretización, esquema numérico, estabilidad, control de error, condiciones iniciales y análisis de sensibilidad; es decir, no se trata únicamente de “correr” código, sino de diseñar un experimento computacional defendible (LeVeque, 2007; Press et al., 2007).

En R/RStudio, este enfoque puede articularse en un flujo de trabajo donde el modelo se implementa, explora y comunica de manera integrada. Por ejemplo, los modelos pueden representarse mediante:

- gráficos de funciones multivariantes,
- simulaciones de sistemas dinámicos,
- visualizaciones tridimensionales,
- representaciones de redes y estructuras topológicas.

Sin embargo, para que estas salidas sean científicamente sólidas, la visualización debe alinearse con el propósito analítico: qué variable se inspecciona, qué comparación se pretende, qué rango paramétrico se recorre y qué evidencia se considera suficiente para sostener una interpretación. Los marcos contemporáneos de visualización recomiendan partir de la tarea analítica y del tipo de dato/estructura para seleccionar codificaciones adecuadas y evitar ambigüedad visual (Munzner, 2014; Ware, 2020). En paralelo, la evidencia clásica en

percepción gráfica sugiere priorizar codificaciones con mayor precisión para comparaciones cuantitativas, especialmente cuando se buscan conclusiones finas (Cleveland & McGill, 1984). Cada imagen generada es, por tanto, una interpretación visual del modelo subyacente y debe leerse como evidencia condicionada por supuestos computacionales (malla, paso temporal, tolerancias, etc.). En investigaciones con notación altamente especializada (como las que el manuscrito enmarca en los trabajos del Dr. Francisco Bulnes), la simulación puede cumplir una función clave: transformar expresiones densas en representaciones inspeccionables que permitan formular hipótesis, detectar cambios de régimen o explorar estabilidad estructural. En ese sentido, la imagen no es solo un producto gráfico, sino una manifestación observable del comportamiento del sistema modelado, cuyo valor depende de su trazabilidad (decisiones numéricas explícitas) y de su calidad de diseño visual (Tufte, 2001; LeVeque, 2007; Munzner, 2014).

Visualización y apropiación del conocimiento científico

Uno de los aportes más relevantes de la simulación computacional es su capacidad para facilitar la apropiación del conocimiento científico al convertir formulaciones altamente abstractas en representaciones inspeccionables. En investigación matemática avanzada, el abstract suele condensar modelos complejos en notación compacta; esto maximiza precisión, pero también incrementa la carga cognitiva necesaria para interpretar consecuencias del modelo. En este escenario, la visualización actúa como una representación externa que apoya el razonamiento: permite “pensar con artefactos” al descargar parte del esfuerzo inferencial en imágenes manipulables (Norman, 1993; Hutchins, 1995).

Mediante la simulación, las expresiones formales se traducen a salidas visuales—trayectorias, campos, superficies, redes o mapas de comportamiento—que hacen visibles propiedades del sistema difíciles de anticipar desde la forma simbólica (por ejemplo, cambios de régimen, patrones recurrentes, estabilidad o singularidades). En términos de ciencia cognitiva y visualización, esto no es un paso estético, sino un mecanismo analítico: las gráficas habilitan tareas de exploración, comparación y detección de regularidades a través de codificaciones perceptibles, ampliando la capacidad de inferir estructura a partir del modelo (Card, Mackinlay, & Shneiderman, 1999; Munzner, 2014; Ware, 2020).

De esta manera, el proceso de simulación contribuye a transformar conocimiento abstracto en conocimiento operacionalmente comprensible, sin sustituir el rigor matemático: lo complementa al permitir iterar entre teoría—cómputo—inspección visual, refinando hipótesis y detectando comportamientos no triviales. Desde una perspectiva epistemológica, las visualizaciones funcionan como “inscripciones” científicas que estabilizan y vuelven comunicables fenómenos complejos; su valor depende de su trazabilidad (supuestos numéricos explícitos) y de su integridad en el diseño (Latour, 1986; Tufte, 2001). En consecuencia, visualizar un modelo matemático no significa “ver números”, sino construir una vía sistemática para interrogar la estructura del sistema a partir de evidencia computacional reproducible y legible.

Convergencia entre ciencia, matemática y tecnología

La simulación computacional constituye uno de los ejemplos más claros de convergencia entre ciencia, matemática y tecnología porque transforma el modelo matemático en un objeto experimental: se implementa, se parametriza, se ejecuta bajo escenarios controlados y se evalúa mediante salidas cuantitativas y visuales. Esta convergencia ha ampliado el alcance de la investigación contemporánea al permitir explorar problemas que antes eran intratables por limitaciones analíticas, por complejidad geométrica o por sensibilidad a condiciones iniciales, haciendo de los algoritmos y del cómputo parte integral del proceso de construcción de conocimiento (Press, 2007; LeVeque, 2007).

En este marco interdisciplinario, herramientas como R y su entorno RStudio facilitan un flujo de trabajo unificado donde se integran: (i) análisis estadístico y exploratorio, (ii) métodos numéricos y simulación, y (iii) visualización para interpretación y comunicación. Sin embargo, para que esta integración alcance estándares científicos robustos, se vuelve central la práctica de investigación reproducible: documentar decisiones, garantizar trazabilidad (parámetros, versiones, supuestos) y conectar narrativas con resultados computacionales verificables. Esta idea tiene raíces en el paradigma de literate programming y en desarrollos posteriores de computación reproducible en ciencia de datos, donde el código y la explicación se articulan como una sola unidad comunicable (Knuth, 1984; Gentleman & Lang, 2007; Peng, 2011).

En consecuencia, la convergencia no debe presentarse únicamente como “uso de software”, sino como una transformación metodológica: la matemática se operacionaliza en algoritmos, los algoritmos producen evidencia, y la evidencia se vuelve interpretable mediante visualización con criterios perceptuales y de diseño. Bajo este enfoque, las investigaciones en matemática avanzada—como las asociadas en tu manuscrito al trabajo del Dr. Francisco Bulnes—pueden beneficiarse especialmente cuando la simulación y la visualización se conciben como instrumentos para formular, refinar y comunicar hipótesis sobre estructuras abstractas, fortaleciendo la interacción entre teoría y exploración computacional (Munzner, 2014; Ware, 2020).

CONCLUSIONES

La reflexión desarrollada en este artículo sostiene que la simulación computacional se ha consolidado como un recurso clave para la investigación matemática contemporánea al convertir formulaciones abstractas en fenómenos explorables. En particular, al implementar modelos en un entorno como R/RStudio, las ecuaciones dejan de ser expresiones estáticas y se transforman en procesos dinámicos que pueden observarse, compararse y analizarse mediante representaciones visuales. Esta transición “de la ecuación a la imagen” amplía la capacidad interpretativa del investigador, al facilitar la identificación de patrones, regímenes de comportamiento y propiedades del sistema que, en el plano estrictamente simbólico, pueden permanecer ocultas o ser difíciles de inferir.

En coherencia con el propósito del manuscrito, se argumenta que la visualización resultante de la simulación no sustituye el rigor matemático, sino que lo complementa al articular cálculo, análisis y percepción en un mismo flujo de trabajo. De este modo, las gráficas y simulaciones producidas funcionan como instrumentos de apropiación del conocimiento científico: permiten interpretar con mayor claridad notaciones densas y altamente especializadas—frecuentes en resúmenes de investigación avanzada—y favorecen la generación de nuevas preguntas e hipótesis a partir de la evidencia computacional.

Finalmente, el texto subraya que la integración entre matemática, computación y visualización expresa una convergencia metodológica propia de la ciencia actual: algoritmos, software y capacidad de cómputo se incorporan al corazón del proceso investigativo, expandiendo el horizonte de lo investigable. En el marco de las colaboraciones vinculadas a las investigaciones del Dr. Francisco Bulnes, la simulación en RStudio se presenta como una vía para interpretar y comunicar modelos de alta complejidad, fortaleciendo la comprensión conceptual y la comunicación científica de estructuras matemáticas que exploran fronteras avanzadas del conocimiento.

REFERENCES

- Card, S. K., Mackinlay, J. D., & Shneiderman, B. (Eds.). (1999). *Readings in information visualization: Using vision to think*. Morgan Kaufmann.
- Cleveland, W. S., & McGill, R. (1984). Graphical perception: Theory, experimentation, and application to the development of graphical methods. *Journal of the American Statistical Association*, 79(387), 531-554.
- Downey, A. B. (2023). *Modeling and simulation in Python: An introduction for scientists and engineers* (2nd ed.). No Starch Press.
- Eddelbuettel, D., & Balamuta, J. J. (2021). *Extending R with C++: A brief introduction to Rcpp*. Chapman and Hall/CRC.
- Gentleman, R., & Lang, D. T. (2007). Statistical analyses and reproducible research. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 16(1), 1-23. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1198/106186007X178663>
- Hutchins, E. (1995). *Cognition in the wild*. MIT Press.
- Irizarry, R. A. (2022). *Introduction to data science: Data analysis and prediction algorithms with R* (2nd ed.). CRC Press.
- Knuth, D. E. (1984). Literate programming. *The Computer Journal*, 27(2), 97-111.
- Langtangen, H. P., & Linge, S. (2020). *Programming for computations: A gentle introduction to numerical simulations*. Springer.
- Latour, B. (1986). Visualization and cognition: Drawing things together. In H. Kuklick (Ed.), *Knowledge and society: Studies in the sociology of culture past and present* (Vol. 6, pp. 1-40). JAI Press.

- LeVeque, R. J. (2007). Finite difference methods for ordinary and partial differential equations: Steady-state and time-dependent problems. Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM).
- Matloff, N. (2021). Statistical regression and classification: From linear models to machine learning. CRC Press.
- Munzner, T. (2014). Visualization analysis and design. CRC Press.
- Navarro, D., Foxcroft, D., & Faulkenberry, T. J. (2021). Learning statistics with R: A tutorial for psychology students and other beginners (2nd ed.). SAGE Publications.
- Norman, D. A. (1993). Things that make us smart: Defending human attributes in the age of the machine. Addison-Wesley.
- Peng, R. D. (2011). Reproducible research in computational science. *Science*, 334(6060), 1226-1227.
- Peng, R. D. (2020). R programming for data science. Leanpub.
- Press, W. H. (Ed.). (2007). Numerical recipes: The art of scientific computing (3rd ed.). Cambridge University Press.
- Tufte, E. R. (2001). The visual display of quantitative information (2nd ed.). Graphics Press.
- Ware, C. (2020). Information visualization: Perception for design (4th ed.). Elsevier.
- Wickham, H., & Grolemund, G. (2023). R for data science: Import, tidy, transform, visualize, and model data (2nd ed.). O'Reilly Media.
- Wilke, C. O. (2020). Fundamentals of data visualization: A primer on making informative and compelling figures. O'Reilly Media.

FINANCIAMIENTO

No aplica.

CONFLICTO DE INTERÉS

No aplica.

CONTRIBUCION AUTORAL:

Conceptualization: Jesús Francisco Carpio Mendoza

Data curation: Jesús Francisco Carpio Mendoza

Formal analysis: Jesús Francisco Carpio Mendoza

Research: Jesús Francisco Carpio Mendoza

Methodology: Jesús Francisco Carpio Mendoza

Project management: Jesús Francisco Carpio Mendoza

Resources: Jesús Francisco Carpio Mendoza

Software: Jesús Francisco Carpio Mendoza

Supervision: Jesús Francisco Carpio Mendoza

Validation: Jesús Francisco Carpio Mendoza

Display: Jesús Francisco Carpio Mendoza

Drafting - original draft: Jesús Francisco Carpio Mendoza

Writing - proofreading and editing: Jesús Francisco Carpio Mendoza