



Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería

ISSN: 0718-3291

facing@uta.cl

Universidad de Tarapacá

Chile

Laroze, David

Sobre la importancia de sistemas no lineales en ciencias e ingeniería  
Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería, vol. 24, núm. 3, julio, 2016, pp. 364-365

Universidad de Tarapacá  
Arica, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=77246569001>

- ▶ Cómo citar el artículo
- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en [redalyc.org](http://redalyc.org)

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

## EDITORIAL

### Sobre la importancia de sistemas no lineales en ciencias e ingeniería

Múltiples fenómenos naturales se encuentran fuera del equilibrio<sup>1</sup>, por ejemplo las reacciones químicas, la dinámica océano-tierra-atmósfera, o como en cualquier sistema vivo, solo por nombrar algunos. En dichos sistemas existe competencia entre la inyección y la disipación de alguna cantidad física medible, tal como la energía o la materia. Por lo general, la manera de estudiar estos fenómenos está basada en sistemas no lineales. Es decir, los sistemas están descritos por un conjunto de ecuaciones en el que sus variables están relacionadas de manera no lineal. El tipo de ecuaciones dependerá de si los sistemas son de naturaleza discreta (mapas) o continua (ecuaciones diferenciales).

En las últimas décadas ha existido una gran dedicación en la comunidad científica por formalizar y entender dichos sistemas, llamados coloquialmente sistemas complejos<sup>1,2,3</sup>. De hecho, la *ciencia no lineal*<sup>3</sup> ha emergido de tal manera que sus principios se han logrado aplicar desde la biología<sup>2</sup> hasta los sistemas sociales<sup>2</sup>. Este hecho se debe a su manera universal de entender los sistemas bajo estudio. Además, una de las claves en la metodología detrás de esta nueva ciencia es tratar de reducir el modelo prototípico a un número de variables mínimas tal que el fenómeno que se busca comprender sea descrito lo más simple posible, pero no trivialmente. Cabe destacar al premio Nobel Richard Feynman al que se le atribuye la frase: “Las mismas ecuaciones tienen las mismas soluciones”<sup>4</sup>, lo que implica que si uno resuelve un problema matemático lo puede aplicar a diferentes situaciones. Este concepto fue esencial en el estudio de formación de patrones, ya que es posible distinguir aquellos mismos en diferentes áreas del conocimiento. Por ejemplo, la formación de dendritas se pueden observar tanto en las tormentas eléctricas en el cielo, como cuando uno quiebra un vidrio con un clavo golpeando con un martillo, como en superconductores en presencia de campos externos, o simplemente en algunos árboles europeos. Consecuentemente, se puede formular un sistema de ecuaciones universales que describa dicho fenómeno, tal que la esencia de los sistemas prototípicos esté en los parámetros de las ecuaciones.

En el caso particular de ingeniería, los sistemas no lineales aparecen de forma natural. Los dos ejemplos más clásicos se encuentran dentro del campo de la dinámica de fluidos y la electrónica. En el primer caso, tiene una importancia tremenda ya que fue el precursor de la ciencia no lineal. Es decir, la mayoría de los estudios sobre inestabilidades se empezaron a experimentar y comprender en el contexto de fluidos, siendo la inestabilidad de Rayleigh-Benard<sup>1</sup> y la inestabilidad de Taylor-Couette<sup>1</sup> las más conocidas. De hecho, en los años sesenta el problema de convección derivó, en el primer estudio moderno del caos<sup>5</sup>. Este estudio fue hecho por Edward Lorenz, y su sistema de tres ecuaciones diferenciales ordinarias no lineales generó una nueva manera de entender el mundo. En él mostró que no eran necesarios múltiples modos para obtener estados complejos en fluidos<sup>6</sup>; y que a pesar de que si se conocen las condiciones iniciales los sistemas deterministas son en principio predecibles, en la práctica esta predictibilidad puede ser difícil de obtener, debido a la sensibilidad frente a dichas

<sup>1</sup> M.C. Cross, P.C. Hohenberg. “Pattern formation outside of equilibrium”. Rev. Mod. Phys. Vol. 65 N° 3, pp. 851. 1993.

<sup>2</sup> A.L. Barabási, R. Albert. “Emergence of Scaling in Random Networks”. Science. Vol. 286, pp. 509. 1999. R. Albert and A.L. Barabási. “Statistical mechanics of complex networks”. Rev. Mod. Phys. Vol. 74, pp. 47. 2002. Z.N. Oltvai, A.L. Barabási. Science. Vol. 298, pp. 763. 2002.

<sup>3</sup> A. Scott. “Nonlinear Science: Emergence and Dynamics of Coherent Structures”. 2 edition. Oxford University Press. UK. 2003.

<sup>4</sup> [https://es.wikiquote.org/wiki/Richard\\_Feynman](https://es.wikiquote.org/wiki/Richard_Feynman)

<sup>5</sup> E.N. Lorenz. J. Atmos. Sci. Vol. 20, pp. 130. 1963.

<sup>6</sup> D. Landau, E. M. Lifshitz. “Fluid Mechanics”. 2 edition. Butterworth-Heinemann. UK. 1987.

condiciones. Más aun, con el desarrollo de la teoría del caos hemos aprendido que puede haber un orden subyacente dentro del desorden, manifestándose algunas veces en formas morfológicamente atractivas como *camarones*<sup>7</sup> o *momias*<sup>8</sup>. La teoría del caos se ha aplicado en un sinfín de áreas, y gracias a la ingeniería electrónica, se ha podido testear de manera simple en circuitos<sup>3, 9</sup>. Una aplicación muy interesante desde el punto de vista tecnológico es el cifrado de información usando series caóticas.

Debido a que hoy en día este campo de estudio es transversal y claramente útil, creo que es necesario incluir un curso sobre sistemas no lineales en los planes de pre-grado tanto de ciencias básicas como de ingeniería. Al menos como una materia optativa en una primera etapa. Para nuestros estudiantes, el conocer las técnicas básicas de cómo entender estos sistemas puede ser ventajoso tanto para su futuro laboral como desde el punto de vista de su formación académica. De los múltiples libros de textos, uno de los que más me ha gustado para un primer curso ha sido el *Strogatz*<sup>10</sup>. Este libro trata de manera didáctica, progresiva, y de forma global diferentes tópicos de sistema no lineales. Además, una componente interesante para los estudiantes en el estudio de los sistemas complejos es poder hacer simulaciones simples en el aula, con resultados inesperados. El prototipo tradicional es el mapa logístico<sup>10</sup>, que es simplemente un mapa cuadrático  $[x_{n+1} = r x_n (1 - x_n)]$ , el que puede generar estados estacionarios, periódicos o caóticos, dependiendo del valor del parámetro  $r$ ; y ¡se puede explorar con una calculadora científica!

Como comentario final de este editorial de la Revista de Ingeniería de la Universidad de Tarapacá, me gustaría enfatizar nuevamente que estamos en una época en que los sistemas complejos son parte de la vida cotidiana, por lo cual nuestra Universidad tiene que estar a la altura de los tiempos, luego tenemos que buscar la manera de transmitir y generar conocimientos en esta dirección para que nuestros alumnos puedan formar parte de este interesante desafío científico-tecnológico.

Dr. David Laroze  
Instituto de Alta Investigación  
Universidad de Tarapacá  
Arica, Chile  
david.laroze@gmail.com

---

<sup>7</sup> J.A.C. Gallas. Int. J. Bifur. Chaos. Vol. 20, Issue 2, pp. 197. 2010.

<sup>8</sup> D. Laroze, J. Bragard, O.J. Suarez, H. Pleiner. “Characterization of the Chaotic Magnetic Particle Dynamics”. IEEE Transaction on Magnetics. Vol. 47 N° 10, pp. 3032. 2011.

<sup>9</sup> G. Chen (Ed.), T. Ueta, (Ed.). Chaos in Circuits and Systems. World Scientific. Singapore. 2002.

<sup>10</sup> S. Strogatz. “Nonlinear Dynamics and Chaos: with Applications to Physics, Biology, Chemistry, and Engineering”. Perseus Books. USA. 1994.