

La sostenibilidad, un sistema dinámico

Sandra Cecilia Bautista-Rodríguez*

La sostenibilidad es un tema complejo, pues se asocia con una idea que puede tener diferentes significados para muchas personas. El debate sobre estrategias, planes o acciones específicas que conducirían a resultados sostenibles puede empantanarse cuando sus detalles son vistos por diferentes partes interesadas con opiniones distintas. Si estos debates se pueden llevar a cabo dentro de un marco claro y consensuado, se mejora la capacidad de alcanzar una solución razonable para las partes. De allí surge la necesidad de modelos, métodos y herramientas que permitan a los tomadores de decisiones analizar cómo sus determinaciones afectan al sistema como un todo y cómo las soluciones planteadas tienen implicaciones a futuro.

1. ¿Por qué la dinámica de sistemas?

Entre las herramientas disponibles para construir un marco de toma de decisiones sostenibles destaca la modelación en dinámica de sistemas (DS). Esta modelación tiene una sólida base matemática, es flexible y expone protocolos bien desarrollados para la construcción, verificación y análisis de modelos. En particular, la modelización en DS es una herramienta ideal para examinar sistemas complejos caracterizados por la retroalimentación y los efectos retardados, características que subyacen a tantos problemas ambientales (Bautista *et al.*, 2019).

La modelización en DS se utilizó por primera vez para abordar la sostenibilidad en los modelos de los límites del crecimiento de principios de la década de 1970. Desde entonces, los modelos de DS se han vuelto más sofisticados y fáciles de usar, con *software* de uso libre para propósitos académico y de investigación, utilizada en cursos de modelación en el programa de Ingeniería Ambiental. Durante el mismo período, la DS se ha convertido en una herramienta influyente para examinar posibles escenarios futuros (Albin, 1997).

La DS es una estrategia de modelación con un enfoque eficaz para tratar problemas; la comprensión de cómo las variables relevantes a un problema de interés interactúan entre sí, se influyen, se retroalimentan, es el punto central de la metodología de dinámica de sistemas. En DS es necesario que el modelo proporcione una explicación válida del sistema real. El objetivo de un estudio de dinámica de sistemas es mostrar cómo y por qué se genera el problema y encontrar puntos en él que sean eficaces para eliminar los factores que lo

* Posdoctora en Modelamiento, doctora en Ingeniería, magistra en Medio Ambiente y Desarrollo, ingeniera química. Profesora del Programa de Ingeniería Ambiental, Grupo de Investigación Agua y Desarrollo Sostenible, Universidad Central, Bogotá. Correo: sbautistar2@ucentral.edu.co

originan. Estos puntos se aplican luego para hacer políticas que los solucionen. La DS se ha utilizado en muchos ámbitos, como el análisis social y económico, los sistemas agrícolas, la gestión de los recursos naturales y el desarrollo sostenible (Ruiz & Bautista, 2021).

2. ¿Cuáles son las tendencias de modelación de DS y la sostenibilidad?

Con el objeto de establecer las áreas temáticas que son tendencia de la modelación en DS asociadas a la sostenibilidad, inicialmente se realiza un análisis bibliométrico y luego un análisis de red. El primero se hace con base en una fórmula booleana de búsqueda en la base de datos Scopus utilizando como palabras clave “system dynamic modelling” o “system dynamics modelling” o “system dynamic model” o “system dynamics model” o “system dynamics approach” y “environmental” o “sustainability”. Posteriormente, limitando la búsqueda a la palabra clave exacta del autor sobre “System Dynamics” o “System Dynamics Model” y “Sustainability”, en el período 2015–2021 se identificaron 577 documentos, lo cual muestra una tendencia creciente en el número de estudios, pues se pasó de 68 investigaciones en 2015 a 117 en 2020 (figura 1). Esta cifra evidencia el creciente interés de los investigadores en la modelación en DS para estudiar la sostenibilidad.

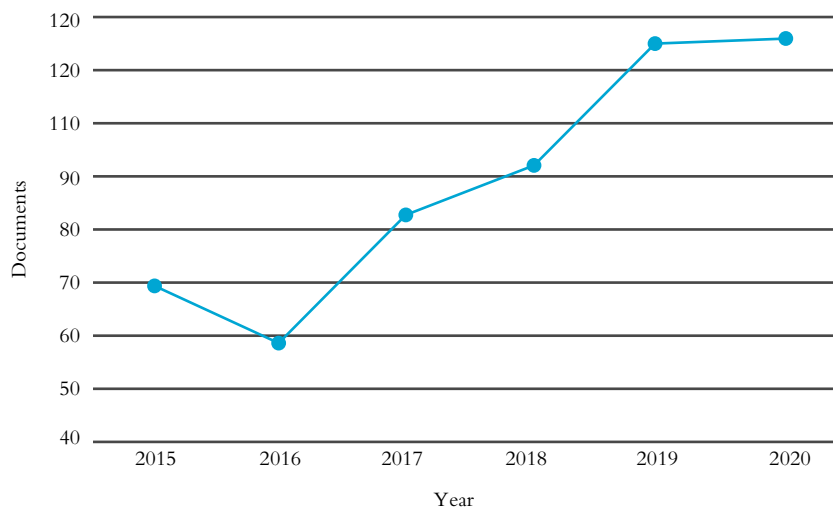


Figura 1. Documentos por año encontrados en el análisis bibliométrico.

Fuente: elaboración propia.

Los países en donde se encuentran concentrados los estudios son China y Estados Unidos, pues los dos publicaron casi el 50% de todos los trabajos. En Colombia se reportan doce estudios, tres de los cuales fueron desarrollados en la Universidad Central (figura 2).

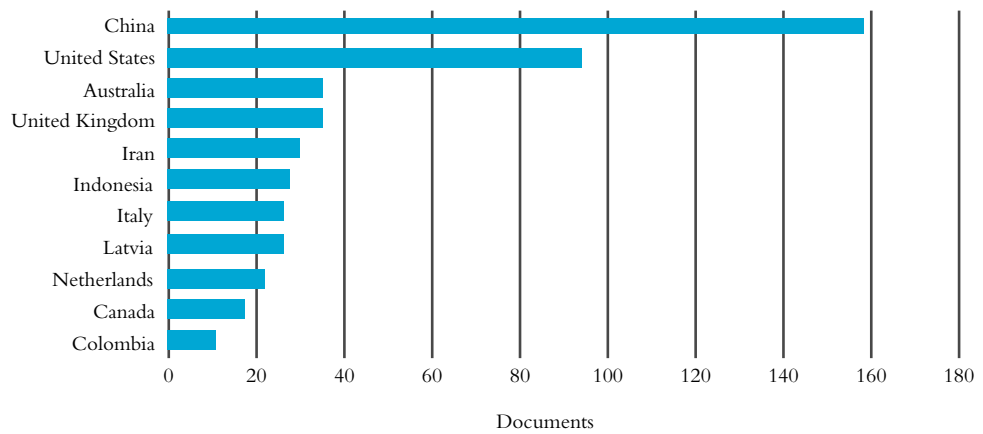


Figura 2. Documentos encontrados en el análisis bibliométrico según país.
Fuente: elaboración propia.

3. ¿Cuáles son las áreas temáticas más relevantes?

Se resalta que los estudios en sostenibilidad que utilizan la modelación en DS se centran en tres áreas: las ciencias ambientales, la ingeniería y la energía. Igualmente, se tienen estudios en áreas muy relevantes, como las ciencias sociales, los negocios y las ciencias de la computación (figura 3).

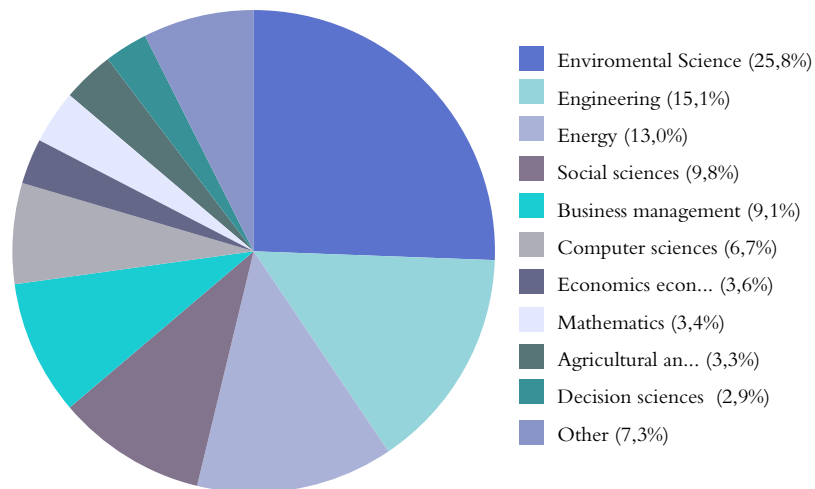


Figura 3. Áreas temáticas de los textos identificados en el análisis bibliométrico.
Fuente: elaboración propia.

Asimismo, se hizo un análisis correlacional utilizando el software VOSviewer y se estableció una red temática, en la cual los colores representan clústeres y el tamaño del círculo el grado de repetición del tema en los estudios (figura 4) (Eck & Waltman, 2010). En el nodo central está la DS vinculada con la sostenibilidad. Los clústeres son generados a partir de la mayor correlación que se encuentra entre los términos.

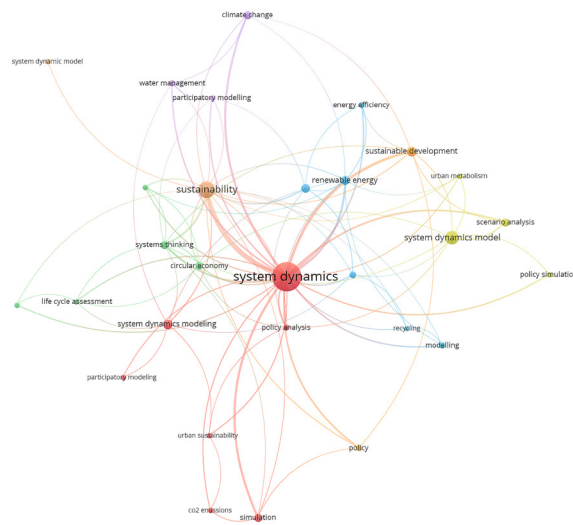


Figura 4. Red temática de las áreas abordadas en los textos consultados.
Fuente: elaboración propia en VOSviewer.

Se tiene un clúster azul ligado a la gestión de residuos, el reciclaje y los modelos de participación social. El clúster verde resalta las relaciones entre los estudios sobre economía circular y el análisis de ciclo de vida. El clúster morado trata sobre la gestión del agua y el cambio climático, ambos temas relacionados con modelos de participación social. El clúster verde-azulado asocia estudios que utilizan la modelación en DS para analizar sistemas de energía renovable y eficiencia energética. El clúster rojo, por su parte, articula los trabajos asociados con la sostenibilidad urbana, el análisis de políticas, la emisión de dióxido de carbono y el desarrollo sostenible. Finalmente, el clúster verde claro es muy cercano al clúster precedente, con estudios sobre metabolismo urbano, simulación de políticas y escenarios.

A manera de conclusión, el análisis de clústeres permite evidenciar el gran potencial que tiene la modelación en dinámica de sistemas para la comprensión y el análisis de problemas ambientales para proponer soluciones sostenibles.

Referencias

- Albin, S. (1997). *Building a System Dynamics Model Part 1: Conceptualization*. Massachusetts Institute of Technology. <https://bit.ly/3bOd4qJ>
- Bautista, S., Espinoza, A., Narvaez, P., Camargo, M., & Morel, L. (2019). A system dynamics approach Colombia. Baseline simulation. *Journal of Cleaner Production*, 213, 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.111>
- Eck, N. J., & Waltman, L. (2010). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. *Scientometrics*, 84(2), 523-538. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>
- Ruiz Galeano, D.A., & Bautista Rodríguez, S. C. (2021). An integrated method of environmental analysis and system dynamics for management of mobile phone waste in Colombia. *Journal of Cleaner Production*, 279, Article 123768 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123768>