

Estudiantes crean modelos de sistemas

Un abordaje accesible

POR DANIEL DAMELIN,
JOSEPH S. KRAJCIK,
CYNTHIA Mc INTYRE,
Y TOM BIELIK

Desde los grandes a los pequeños, muchos fenómenos pueden ser conceptualizados como conjuntos de partes que interactúan para formar un sistema con propiedades emergentes. Comprender y pensar sobre los fenómenos desde una perspectiva de sistemas es fundamental en muchas áreas de la ciencia, porque el mundo es complejo e interconectado de maneras que a menudo se pueden describir mejor utilizando modelos de sistemas. Definir un sistema y construir un modelo de ese sistema permite a los científicos poner la mirada sobre variables que son críticas para explicar un fenómeno.

Esperamos que nuestros estudiantes, como científicos reales, exploren sistemas y modelos de sistemas como un paso necesario para el desarrollo de competencias científicas.

Aunque los científicos a menudo usan una perspectiva de sistemas para enmarcar sus estudios, y el Marco para Educación Científica K-12 (NRC 2012) y los Estándares Científicos de Próxima Generación (Estados Principales NGSS 2013) han identificado Sistemas y Modelos de Sistemas como un concepto transversal, hemos encontrado que los estudiantes no piensan naturalmente en



términos de sistemas.

Enseñar y aprender acerca de los sistemas puede ser un desafío sin las herramientas adecuadas y soporte de la currícula. El uso de un enfoque sistémico requiere práctica y requiere de una guía significativa por parte de los docentes y compañeros.

El proceso implica describir los límites apropiados, identificar qué parte del sistema debe investigarse para explicar el fenómeno y determinar qué hay fuera del sistema. También requiere perfeccionar las características o variables clave dentro de un sistema que tienen un efecto significativo en su comportamiento, y ser capaz de especificar cómo influye cada variable en las demás.

Aunque un enfoque pedagógico centrado en construir y revisar modelos para desarrollar marcos

conceptuales internos significa algo positivo para los estudiantes (Lehrer y Schauble 2006), la mayoría de las herramientas de modelización son demasiado complejas para los estudiantes, especialmente para los estudiantes del nivel Medio.

Si bien el desarrollo de modelos es un proceso complicado, Hipkins, Bull y Joyce (2008) descubrieron que, con un andamiaje adecuado, los estudiantes podían dedicarse al pensamiento sistémico a edades más tempranas de lo que cabría esperar.

Desarrollamos una herramienta para ayudar a los estudiantes a diseñar y construir modelos de sistemas que puedan ser probados y revisados. Nuestros principios de diseño subyacentes que guiaron el desarrollo de la herramienta incluyen facilitar la representación del sistema en

estudio, generar datos sin requerir que los estudiantes escriban ecuaciones matemáticas o programen, y visualizar el resultado de una manera productiva que aliente el desarrollo de modelos iterativos.

Promover el modelado de sistemas en el nivel escolar utilizando SageModeler

SageModeler es una herramienta gratuita y de código abierto que andamia el aprendizaje para que los estudiantes jóvenes, comenzando por la escuela Media, puedan involucrarse en el pensamiento sistémico a través del diseño, construcción y revisión de modelos (ver Recursos). Utilizando la herramienta de modelado de sistemas basada en la web SageModeler, los estudiantes pueden explorar una variedad de sistemas, como la calidad del agua y el aire en sus comunidades, el cambio climático y los ecosistemas (ver la barra lateral).

El andamiaje está disponible en varias formas:

- representación visual de variables y relaciones, que los estudiantes pueden personalizar;
- interfaz simple de arrastrar y soltar para construir un diagrama de sistemas;
- capacidad de definir relaciones funcionales entre variables sin tener que escribir ecuaciones; y
- un entorno exploratorio de análisis de datos diseñado para estudiantes.

Los estudiantes comienzan utilizando SageModeler como una herramienta de diagramación, que les permite crear su representación de un sistema en particular, definir las

variables y dibujar enlaces para representar cómo los factores se relacionan entre sí dentro del sistema.

Una interfaz simple permite al usuario representar cada variable con una imagen tomada de un sitio de imágenes prediseñadas de dominio público. Los estudiantes pueden arrastrar y soltar las imágenes en el espacio principal y establecer

vínculos conectando estas variables entre sí.

Aunque durante la fase de diagramación puede producirse una gran cantidad de aprendizaje y generarse mucha discusión sobre el modelado de sistemas, el siguiente paso es que los alumnos caractericen las relaciones entre variables para ver el resultado de su modelo.

Usando SageModeler en el aula

SageModeler es una herramienta flexible que se puede usar para modelizar una amplia variedad de fenómenos. La siguiente es una forma de lograr que los estudiantes participen en la modelización:

1. Presentar el fenómeno a través de una o más técnicas: lectura / investigación, video, demostración en clase o laboratorio / actividad estudiantil.
2. Pedir a los alumnos que hagan una lluvia de ideas sobre las variables que forman parte del sistema que se modelizará.
3. Pedir a los alumnos que se fijen en las variables clave y construyan un modelo inicial.
4. Llevar a la clase los modelos que los estudiantes construyeron para analizarlos.
5. Explorar un aspecto particular del sistema con más detalle, idealmente de una manera que proporcione a los estudiantes datos u observaciones que se puedan comparar con los resultados de su propio modelo.
6. Revisar los modelos, compartirlos y repetir el ciclo.

Los siguientes fenómenos funcionan bien con SageModeler:

- Cambio climático
- Teoría molecular cinética y comportamiento de un gas
- Fuerzas magnéticas
- Colisiones, fuerzas y energía
- Evaporación
- Calidad del agua
- Efectos ambientales sobre una enfermedad
- Patrones del clima

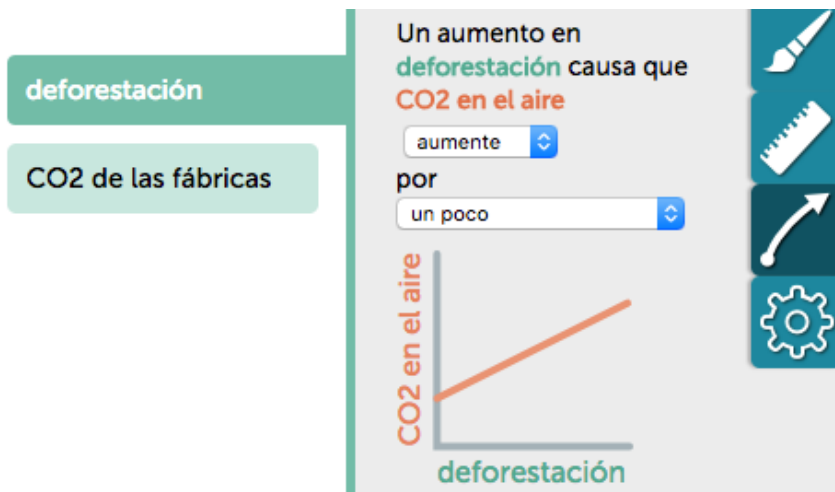
Ver la sección “Recursos” para saber más sobre el uso de SageModeler.

Para evitar escribir ecuaciones al especificar estas relaciones, SageModeler toma un enfoque semi-cuantitativo para definir cómo una variable afecta a otra. Los valores de las variables

iniciales se establecen con un control deslizante que va de "bajo" a "alto", y los estudiantes usan palabras con gráficos asociados para definir los enlaces entre las variables. Por ejemplo, si

la "deforestación" está vinculada a "la cantidad de dióxido de carbono en el aire", los estudiantes pueden establecer una relación que diga: "Un aumento en la deforestación causa que dióxido de carbono en el aire aumente por un poco."

FIGURA 1: Estableciendo relaciones entre variables usando palabras y gráficos en vez de ecuaciones matemáticas.



Las partes en *italica y negrita* de la oración anterior se definen utilizando menús desplegables y se asocian con un gráfico simple que muestra esa relación (Figura 1). Los enlaces entre variables también cambian visualmente para mostrar esas relaciones. Las flechas azules significan relaciones decrecientes y las rojas significan aumento. El ancho de la línea representa la magnitud del cambio (por ejemplo, una línea gruesa significa que la salida cambia "mucho" a medida que cambia la entrada, mientras que un enlace que comienza delgado y se ensancha hacia la punta de flecha significa un aumento o disminución por más y más") (Figura 2).

FIGURA 2: Ejemplo de modelo de acidificación del océano.



Definir las relaciones con palabras ayuda a los estudiantes a superar los obstáculos matemáticos normalmente asociados con la creación de modelos computacionales, y les permite enfocarse en una comprensión conceptual de las relaciones entre las variables. También agregamos una opción que permite a los estudiantes dibujar la relación entre dos variables en un gráfico si ninguna de las relaciones predefinidas coincide con la forma en que piensan que están conectadas las dos variables.

Una vez que se ha diagramado un sistema y se han creado las relaciones entre las variables definidas, se puede ejecutar el modelo, generando resultados en forma de una tabla o gráficos que proporcionan a los estudiantes retroalimentación con respecto al comportamiento de su modelo.

Permitir que los estudiantes prueben los resultados de su modelo puede generar un diálogo valioso en el aula. Hemos observado a los estudiantes debatir las relaciones en sus modelos y revisar sus modelos como resultado de examinar y discutir sus resultados con el docente y sus compañeros.

Para comprender mejor su sistema y mejorar sus modelos, los estudiantes también pueden comparar los resultados de su modelo con un conjunto de datos externos, tal como lo hacen los científicos. SageModeler está integrado en la Plataforma Común de Análisis de Datos en Línea (CODAP) (Finzer y Damelin 2015). CODAP es una plataforma intuitiva de gráficos y análisis de datos que toma los resultados generados por el modelo del sistema, así como cualquier otra fuente de datos, desde conjuntos de datos abiertos publicados en repositorios, hasta resultados de modelos computacionales o

datos de sensores, y los combina en un único entorno analítico.

A través de un proceso iterativo de construir el modelo del sistema, compartirlo y debatirlo con otros, probarlo para observar su comportamiento y comparar el resultado del modelo con otro conjunto de datos de validación, los estudiantes desarrollan una comprensión conceptual profunda del sistema en cuestión y desarrollan habilidades de modelización que se pueden aplicar en todas las disciplinas y en situaciones nuevas.

Desarrollar currículum para apoyar el pensamiento sistémico

Actualmente estamos desarrollando unidades de aprendizaje basadas en proyectos que involucrarán a estudiantes de escuela secundaria en la construcción de modelos para explicar fenómenos y en la revisión de sus modelos para ajustarse mejor a los datos de comparación (Krajcik 2015; ver Recursos).

La primera unidad ayuda a los estudiantes a adquirir competencias en la expectativa de rendimiento NGSS MS-LS2-3, "Desarrollar un modelo para describir el ciclo de la materia y el flujo de energía entre las partes vivas y no vivas de un ecosistema" (NGSS Lead States 2013). Los estudiantes exploran la pregunta: "¿Por qué los pescadores necesitan bosques?". Diseñada para estudiantes de secundaria, esta unidad presenta varios aspectos del ciclo del carbono, centrándose en la transferencia de dióxido de carbono entre la atmósfera, la hidrósfera y la biósfera.

A medida que la unidad progresa, los estudiantes participan en actividades prácticas, demostraciones de docentes, lecturas e

investigaciones de indagación.

Exploran los datos ambientales relacionados con la captura de carbono en los árboles, la transferencia de carbono, la acidificación de los océanos y sus efectos sobre las especies acuáticas, y los impactos sobre la nutrición y la economía humanas.

Cada una de estas exploraciones proporciona oportunidades para que los estudiantes participen en otro ciclo de diseño, prueba, intercambio y revisión, haciendo que sus modelos de acidificación de los océanos se adapten mejor al mundo real y aumentando la capacidad de los estudiantes para aplicar este conocimiento en otros temas relacionados.

Conclusión

El Marco y el NGSS identifican a los Sistemas y Modelos de Sistemas como uno de los conceptos transversales más importantes, y Desarrollar y Usar Modelos como una de las prácticas clave de la ciencia y la ingeniería. Debido a que hay pocas herramientas de fácil acceso diseñadas para los estudiantes para la construcción de modelos, creamos SageModeler para facilitar por parte de los estudiantes la modelización y la comprensión de los sistemas complejos. Cuando los estudiantes participan en el aprendizaje tridimensional a través de la construcción, prueba, intercambio y revisión de sus propios modelos de sistemas complejos, dan los pasos necesarios para desarrollar un conocimiento utilizable que se pueda aplicar más ampliamente en la comprensión del mundo natural. •

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo es apoyado por la National Science Foundation (NSF) bajo los grants DRL-1417809 y DRL-1417900. Cualquiera de las opiniones, hallazgos, y conclusiones o recomendaciones expresadas en este material son propias de los autores y no reflejan necesariamente la visión de la National Science Foundation.

REFERENCIAS

Finzer, W., y D. Damelin. 2015. Building the CODAP community. @Concord 19 (2): 8–9.

Hipkins, R., A. Bull, y C. Joyce. 2008. The interplay of context and concepts in primary school children's systems thinking. *Journal of Biological Education* 42 (2): 73–78.

Krajcik, J. 2015. Project-based science: Engaging students in threedimensional learning. *The Science Teacher* 81 (1): 25–27.

Lehrer, R., y L. Schauble. 2006. Cultivating model-based reasoning in science education. In *The Cambridge handbook of the learning sciences*, ed. R.K. Sawyer, 371–87. New York: Cambridge University Press.

National Research Council [NRC]. 2012. A framework for K–12 science education: Practices, crosscutting concepts, and

core ideas. Washington, DC: National Academies Press.

NGSS Lead States. 2013. Next Generation Science Standards: For states, by states. Washington, DC: National Academies Press. www.nextgenscience.org/next-generation-science-standards.

RECURSOS

SageModeler—<http://concord.org/projects/building-models#cc1>

Usando SageModeler—<http://concord.org/sagemodeler-how-to>

Secuencias didácticas gratuitas—<http://learn.concord.org/building-models>

Daniel Damelin [ddamelin@concord.org] es un desarrollador de tecnología y currículum en el Concord Consortium en Concord, Massachusetts. **Joseph S. Krajcik** es Lappan-Phillips Professor of Science Education y director del CREATE for STEM Institute en Michigan State University en East Lansing, Michigan. **Cynthia McIntyre** es directora de comunicaciones del Concord Consortium en Concord, Massachusetts. **Tom Bielik** es investigador asociado en la Michigan State University en East Lansing, Michigan.

Copyright © 2017, National Science Teachers Association (NSTA).
Reimpreso con permiso de Science Scope, Vol. 40, No. 5, Enero 2017.
Traducción al español por Cristián Rizzi Iribarren, Julio 2018.