

Editorial



¿MODELOS MATEMÁTICOS?, ¿PARA QUÉ?

Dr. Fernando Momo

*Universidad de General Sarmiento,
Provincia de Buenos Aires, Argentina*

El modelamiento matemático de procesos biológicos es una actividad de larga tradición científica, así como lo es el modelamiento matemático en todas las ciencias, desde las ciencias naturales canónicas, como la Física, hasta las ciencias sociales y humanidades. Es más, hasta podríamos pensar que esta actividad aplicada a problemas biológicos ya puede considerarse una disciplina en sí, e incluso una ciencia independiente (tiene bien definidos sus objetos de estudio, sus metodologías, su vocabulario mínimo).

Pero claro, en toda actividad científica es saludable tomar conciencia y reflexionar de manera sistemática y habitual acerca del sentido de nuestra tarea, de su porqué y su para qué. En este caso, nos proponemos explorar algunas cuestiones metodológicas y epistemológicas que parecieran estar todavía en un terreno de discusión o, al menos, en un terreno de diversidad de interpretaciones.

Veamos; este es un texto editorial que se publica en una Revista de Modelamiento Matemático de Sistemas Biológicos. Entonces, ¿tiene sentido interrogarse acerca de los objetivos del modelamiento? ¿Qué queremos lograr cuando modelamos matemáticamente? ¿Porqué nos interesa particularmente modelar estos sistemas y qué de nuevo, especial o importante pueden aportar los modelos en este terreno?

Si hacemos un breve recorrido en alguna bibliografía fundamental del tema, veremos que las interpretaciones y respuestas no son uniformes y tienen enfoques sutilmente variados.

Por ejemplo, Teresa González Manteiga¹, en su excelente libro, coloca a las matemáticas en un lugar privilegiado, como ciencia central. Apoyada en abundantes citas, que incluyen físicos como Galileo o Newton, filósofos como Kant o Manero, y hasta poetas como Paul Valéry, esta autora coloca al modelado matemático en el lugar del descubrimiento y la abstracción de los principios últimos de la naturaleza. Como vemos, una posición que va mucho más allá de la usual idea instrumental del modelado. En el otro extremo tenemos definiciones que apuntan a la matemática como herramienta. Hastings², en su libro de dinámica de poblaciones, dice escuetamente que el objetivo de la biología de poblaciones es comprender y predecir la dinámica de las poblaciones y que el entendimiento, explicación y predicción de esa dinámica requiere de modelos matemáticos. Como vemos, lo que se subraya es un papel auxiliar en el cual el énfasis está puesto en el problema biológico en sí y la matemática toma un papel subsidiario pero útil, porque permite un formalismo que facilita la comprensión y también la predicción cuantitativa. Este enfoque ha sido dominante, sobre todo, en el modelamiento matemático dentro de la ecología de poblaciones, olvidando de hecho que muchos de los conceptos puramente ecológicos que se enseñan como leyes tienen su origen en el análisis de los modelos; por ejemplo, el principio de exclusión competitiva en la formulación de Gause³.

En una zona intermedia se ubican algunos otros autores; por ejemplo, Gillman y Hails⁴ sostienen que un modelo ecológico debe ser capaz de describir los cambios en las variables de interés (por ejemplo, densidad poblacional) con algún grado de exactitud, y también que dichos modelos deben expresarse matemáticamente en razón de la brevedad y formalismo de la descripción, la posibilidad de manipulación del modelo y la posibilidad de descubrir propiedades emergentes que no son aparentes ante el razonamiento no matemático. Como vemos, aquí aparece una novedad fundamental que tiene que ver con el carácter iluminador de los modelos matemáticos en tanto capaces de mostrar lo que no se veía. Esa idea subyace en otros textos, como el delicioso libro de Hernández y Velasco Hernández⁵, en el cual los autores nos advierten los peligros de limitar el uso de los modelos matemáticos a la mera predicción y abogan, por el contrario, por un manejo más ambicioso donde el uso de los modelos puede incluso poner a prueba hipótesis o profundizar nuestra comprensión de sistemas muy complejos. De hecho presentan una analogía muy bonita, según la cuál los modelos matemáticos pueden

considerarse también como instrumentos de observación: para observar lo muy lejano podemos usar un telescopio; para observar lo muy pequeño, un microscopio; para observar lo muy complejo, los modelos matemáticos. Es una idea provocadora y estimulante.

En su trabajo clásico acerca de los modelos en ecología, Pielou⁶ clasifica los mismos según su uso y los verbos y expresiones que utiliza para designar las funciones de los modelos son: explicar, predecir, generar hipótesis testeables, servir como patrones ideales contra los que contrastar los procesos reales. Tenemos aquí unas funciones adicionales a las que venimos comentando. ¿Podemos pedirles más cosas a los modelos? Pues parece que sí, porque cuando abrimos el espectro más allá de lo ecológico y los llevamos a todos los fenómenos que estudia la biología no encontramos con otros tópicos que es necesario tener en cuenta para definir mejor el alcance del modelado matemático. Por ejemplo, en el excelente libro de Esteva y Falconi⁷ se afirma que “La modelación matemática ofrece una herramienta de investigación que permite al biólogo estudiar la esencia de un fenómeno y dejar de lado detalles que no son relevantes para su comprensión”, una visión que se relaciona íntimamente con la metáfora que ya mencionamos del instrumento de observación y con el espíritu mostrado en el libro de Manteiga abogando por la matemática como el camino privilegiado para la abstracción y la elaboración de principios generales a partir de casos particulares. Otro punto muy delicado y relevante que plantea en su introducción el libro de Esteva y Falconi es el del carácter profundamente interdisciplinario de la biología matemática y recalca que “[...] sin un conocimiento profundo de la biología es imposible fundamentar un modelo matemático y saber si es interesante o irrelevante”.

Esto nos lleva a los dos últimos tópicos que me gustaría plantear antes de intentar una síntesis del asunto. En primer lugar, el problema de la naturaleza particular de los sistemas biológicos y cómo dicha naturaleza influye en lo que podemos o no hacer a partir de los modelos matemáticos; esto está brillantemente desarrollado en un artículo de Germinal Cocho Gil⁸, publicado como capítulo de un libro coordinado por Sánchez Garduño; Miramontes y Gutiérrez Sánchez. Allí el autor nos presenta dos ejercicios de hermenéutica diatópica planteando las oposiciones entre dos escuelas de la biología evolucionista y también la clásica contradicción Evo-Devo. Lejos de agotarse en una simple descripción histórica, Cocho nos muestra cuestiones que se anclan en algunas características esenciales del mundo biológico, en particular el hecho de que los sistemas biológicos son históricos, dinámicos y mutables y, por lo tanto, difíciles de encasillar con definiciones estáticas por un lado; y, por otro, la existencia de una jerarquización de niveles de complejidad (lo cual implica también una

jerarquización de controles y retroalimentaciones) en cualquier estructura biológica funcionando. Aquí pasa a jugar un papel importante la cuestión termodinámica (otra vez lo interdisciplinario) y el autor asocia estas cuestiones con lo que sucede en el plano de la discusión epistemológica de la propia disciplina.

El otro punto que es clave para lo que queremos plantear está puesto en primer plano en el libro de Torres Curthi⁹ y es sumamente inquietante: el problema de la verdad de los modelos. Allí la autora nos llama la atención sobre la diferente cualidad de las verdades de las ciencias fácticas, que dependen de hechos pero son necesariamente provisionarias y tienen detrás un proceso inductivo, con hipótesis que se ponen a prueba y admiten ser refutadas; y las verdades de las ciencias formales que son absolutas (ya sean axiomas o teoremas); es decir, ya sea porque se aceptan como verdades para el sistema formal del que forman parte o porque han sido demostradas a partir de aquellas, las verdades de los sistemas axiomáticos lo son para siempre y no admiten refutación. ¿Podemos entonces representar adecuadamente sistemas y problemas de las ciencias naturales (que son fácticas) mediante los objetos y leyes de las ciencias formales (como las matemáticas) y lograr una buena representación? Algunos aspectos de ese problema y sus posibles respuestas han sido explorados por el distinguido colega y amigo Fernando Córdova-Lepe en esta misma sección en el número anterior. Allí, nuestro colega hace énfasis en la problemática que implica el trabajo interdisciplinario que le es propio al modelador matemático que aplica sus conocimientos a los sistemas biológicos.

INTENTANDO DESENDERAR EL HILO

Habiendo hecho este repaso obligadamente breve, podemos ver que el lugar del modelado matemático en las ciencias biológicas es múltiple y que los temas de meditación que acompañan la tarea son muchos.

¿Actúa la matemática como una herramienta cuando modelamos sistemas biológicos? Podríamos decir que sí, pero que no siempre es el mismo tipo de herramienta; depende del objetivo que tengamos. Está claro que esta herramienta no se agota en la búsqueda de predicciones solamente; que las predicciones no son solamente tendencias o valores que se podrían ajustar mejor o peor a los datos empíricos; que el desarrollo de modelos mecanísticos de los procesos biológicos no sólo implica la comprensión profunda de los procesos, sino que también ayuda a esa comprensión, ilumina aspectos, sugiere simplificaciones y generalizaciones que no se tenían en cuenta.

Pero hay más aún, y esto no sólo es válido para las ciencias biológicas sino que puede pensarse de manera análoga para otras ciencias: de alguna manera, la habilidad de modelar matemáticamente lo biológico nos abre una puerta hacia otros mundos biológicos posibles. De alguna manera, el modelado matemático no necesita ser ulterior al fenómeno biológico observable; podría plantearse preguntas acerca de fenómenos aún no observados; por ejemplo, ¿porqué no existen organismos que obtengan energía biológica rodando cuesta abajo y transformando la energía cinética en química? Y si existiesen, ¿cómo podrían funcionar biológicamente; qué mecanismos deberían tener, cómo se reproducirían, qué organelas tendrían sus células, cómo los afectaría la selección natural? El modelado también nos permite imaginar organismos y ecologías que podrían existir en ambientes de otros planetas (Carl Sagan fue pionero en esta clase de hipótesis).

Por otra parte, es bastante habitual que los problemas biológicos más conocidos, al intentar ser modelados planteen también problemas matemáticos particulares que a veces nos llevan al desarrollo de técnicas o al rescate de áreas de las matemáticas un tanto olvidadas. Un ejemplo posible de temas que están requiriendo del desarrollo de técnicas matemáticas nuevas o, incluso, del desarrollo de nuevos conceptos, es el amplio desarrollo que está experimentando el estudio de redes biológicas, desde redes de interacciones entre especies (redes tróficas, redes de competencia, redes mutualistas) hasta redes metabólicas, de regulación genética, de relaciones sociales entre animales, etc. Uno de los temas difíciles de resolver en el estudio de estas estructuras dinámicas es determinar su estabilidad ante perturbaciones externas; otro es el terreno de la predicción de la dinámica de esas redes. Actualmente las herramientas matemáticas con que contamos han demostrado ser insuficientes o poco sutiles para captar estas dinámicas complejas. Las métricas de estabilidad se multiplican y se apoyan en una multiplicidad de hipótesis auxiliares no siempre plausibles, o bien se obtienen de simulaciones reduccionistas (que subestiman las interacciones no lineales). Seguramente hay propiedades de las matrices que pueden asociarse con variables análogas a la energía libre¹⁰ y que valdría la pena explorar en equipos multidisciplinarios.

En síntesis: nuestra área de trabajo, que tiene en esta revista un vehículo académico, es cada vez más amplia, desafiante y provocativa. Y un territorio fértil para otra de las capacidades humanas que está en la base de toda ciencia: la imaginación.

Notas al final

1. González Manteiga, M. T. (2003). Modelos matemáticos discretos en las ciencias de la naturaleza. Teoría y problemas. Editorial Díaz de Santos.
2. Hastings, A. (1997). Population Biology. Concepts and models. Springer.
3. Gause, G. F. (1935). Vérifications expérimentales de la théorie mathématique de la lutte pour la vie. Hermann & Cie.
4. Gillman, M. y Hails, R. (1997). An introduction to ecological modelling. Putting practice into theory. Blackwell Science.
5. Hernández, G. y J. X. Velasco-Hernández (1999). El manantial escondido. Un acercamiento a la biología teórica y matemática. Fondo de Cultura Económica.
6. Pielou, E. C. (1981). The Usefulness of Ecological Models: A Stock-Taking. The Quarterly Review of Biology, 56(1), 17-31.
7. Esteva, L. y M. Falconi (compiladores) (2002). Biología matemática. Un enfoque desde los sistemas dinámicos. Las Prensas de Ciencias. UNAM.
8. Cocho Gil, G. (2002). Ernst Mayr, la teoría sintética de la evolución y una nueva visión del azar y la necesidad. En Sánchez Garduño, F.; Miramontes, P. y Gutiérrez Sánchez, J. L. (coordinadores). Clásicos de la Biología Matemática. Pp. 11 a 21. Siglo XXI Editores.
9. De Torres Curth, M. (2015). Los reyes de la pasarela: modelos matemáticos en las ciencias. Fundación de Historia Natural Félix de Azara.
10. Bozkurt; Güngör, Gutman y Çevik (2010). Randić Matrix and Randić Energy. MATCH Commun. Math. Comput. Chem., (64), 239-250.